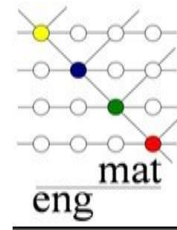




**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE**  
**MATERIAIS**



**MEMBRANAS À BASE DE QUITOSANA, POLI(ÁLCOOL VINÍLICO) E  
CASCA DE BANANA MADURA VISANDO APLICAÇÃO COMO CURATIVO  
CUTÂNEO**

Renata Karoline Ferreira Ataíde

João Pessoa – PB

Outubro/2018

Renata Karoline Ferreira Ataíde

**MEMBRANAS À BASE DE QUITOSANA, POLI(ÁLCOOL VINÍLICO) E  
CASCA DE BANANA MADURA VISANDO APLICAÇÃO COMO CURATIVO  
CUTÂNEO**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado à Coordenação de  
Engenharia de Materiais, do Centro  
de Tecnologia da Universidade  
Federal da Paraíba, para apreciação  
da banca examinadora como parte  
dos requisitos para a obtenção do  
grau de bacharel em Engenharia de  
Materiais.

Orientador (a): Profa. Dra. Itamara Farias Leite

João Pessoa – PB

Outubro/2018

Renata Karoline Ferreira Ataíde

MEMBRANAS À BASE DE QUITOSANA, POLI(ÁLCOOL  
VINÍLICO) E CASCA DE BANANA MADURA VISANDO  
APLICAÇÃO COMO CURATIVO CUTÂNEO

Data de defesa: 30 de outubro de 2018.

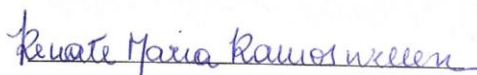
Período: 11

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora:



Profa. Dra. Itamara Farias Leite

DEMAT/CT/UFPB



Profa. Dra. Renate Maria Ramos Wellen

DEMAT/CT/UFPB



Profa. Dra. Amélia Severino Ferreira e Santos

DEMAT/CT/UFPB

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

A862m Ataide, Renata Karoline Ferreira.

Membranas à base de quitosana, poli(álcool vinílico) e casca de banana madura visando aplicação como curativo cutâneo / Renata Karoline Ferreira Ataide. - João Pessoa, 2018.

78f.

Orientação: Itamara Farias Leite.

Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. quitosana. 2. PVA. 3. pó da casca da banana. 4. argila. 5. membranas. 6. curativos. I. Leite, Itamara Farias. II. Título.

UFPB/BC

## AGRADECIMENTOS

A Deus, em especial, pelo dom da vida. Por ser minha fortaleza, meu refúgio e meu ponto de paz. Gratidão por me erguer quando mais preciso, por me guiar para os melhores caminhos, por me proporcionar tamanha determinação para conseguir ultrapassar todas as barreiras da vida e por ter me dado a oportunidade de ter chegado até aqui.

Aos meus pais, Kalina Ferreira e Marinésio Ataíde, por sempre acreditarem em mim, na minha capacidade. Gratidão por toda dedicação para que eu pudesse ser quem sou hoje. Agradeço de coração por todos ensinamentos, por todo amor, cuidado e por nunca medir esforços para que eu tivesse tudo que tenho hoje.

A minha avó, Maria de Lourdes, minha segunda mãe. Aquela que não mede esforços para ver minha felicidade. Gratidão por toda ajuda e apoio em tudo.

Ao meu noivo, Márcio Chaves, por ser esse verdadeiro companheiro de vida e por sempre acreditar em mim. Gratidão por estar sempre ao meu lado não só nos momentos de felicidade, mas também naqueles momentos de tristeza e de dificuldades.

A Profa. Dra. Itamara Farias Leite, pela oportunidade de ter trabalhado em vários projetos de pesquisa. Gratidão por toda ajuda, apoio, compreensão e por toda orientação durante todo esse tempo de pesquisa. Admiro muito a pessoa e a profissional que ela é, sempre dedicada e disposta a auxiliar em tudo. Agradeço imensamente por ter contribuído tanto para meu desenvolvimento pessoal quanto profissional.

A minha amiga, Ingridy Dayane, por todo esses anos de amizade durante o curso. Por ser essa pessoa tão carismática, companheira e leal. Gratidão por partilhar tantos momentos ao meu lado e por me incentivar a continuar quando achava que tudo era difícil.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVOS .....	4
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	5
3.1 Pele .....	5
3.2 Feridas cutâneas e processo de cicatrização .....	6
3.3 Curativos .....	9
3.4 Quitosana .....	10
3.5 Poli(álcool vinílico) .....	12
3.6 Banana .....	14
3.7 Argila bentonita .....	16
4. METODOLOGIA .....	19
4.1 Materiais .....	19
4.2 Preparação da membrana de poli(álcool vinílico) (PVA) .....	19
4.3 Preparação da membrana de quitosana (CS) .....	20
4.4 Preparação do pó da casca da banana .....	20
4.5 Preparação das membranas CS e PVA com pó da casca da banana .....	21
4.6 Preparação da membrana CS/PVA (1:4) com pó da casa da banana .....	22
4.7 Preparação da membrana CS/PVA (1:4) contendo pó da casca da banana e argila bentonita .....	23
4.8 Caracterizações .....	25
4.8.1 Análise Granulométrica .....	25
4.8.2 Atividade de Água .....	25
4.8.3 Avaliação Qualitativa .....	25
4.8.4 Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) .	26
4.8.5 Difratomia de Raios-X (DRX) .....	26
4.8.6 Ensaio de Intumescimento .....	27
4.8.7 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) .....	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	28
5.1 Análise Granulométrica .....	28
5.2 Atividade de Água .....	30

5.3	Avaliação Qualitativa .....	30
5.3.1	Aspecto Visual .....	30
5.3.2	Espessura das Membranas .....	33
5.4	Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) .....	35
5.5	Difratometria de Raios-X (DRX) .....	41
5.6	Ensaio de Intumescimento .....	45
5.7	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) .....	47
6.	CONCLUSÃO .....	50
	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	51
	REFERÊNCIAS .....	52
	ANEXOS .....	65

## RESUMO

O emprego de biomateriais para aplicação como curativos cutâneos tem ganhado nos últimos anos bastante destaque, visto que o tratamento de feridas cutâneas tem se tornado um problema mundial devido às inúmeras complicações que podem ocorrer durante o processo de cicatrização. Diante disso, o uso de membranas constituídas de quitosana (CS) e poli(álcool vinílico) (PVA) surge como uma alternativa promissora para a obtenção de biomateriais para uso potencial como curativos. Aliado a essas vantagens, o pó da casca da banana (PCB) tem sido empregado também nesse estudo, devido ao seu poder de cicatrização, em virtude da presença de metabólicos secundários como os taninos, assim como significativa atividade antimicrobiana frente às bactérias, fungos e leveduras. As membranas de CS e PVA puras; CS, PVA e CS/PVA (1:4) com 10% em massa de PCB; bem como a membrana CS/PVA (1:4) com 10% em massa de PCB e 3% em massa de AN, foram preparadas pelo método de evaporação de solvente (*casting*). A estrutura, morfologia e propriedades físicas das membranas foram avaliadas. De um modo geral, as membranas apresentaram flexibilidade, maleabilidade e adesividade quando analisadas macroscopicamente. Os valores médios de espessura das membranas foram compatíveis com as espessuras dos curativos já reportados na literatura. Os difratogramas de raios-X das membranas contendo 10% em massa do pó da casca da banana sugeriram relativa influência desta carga na estrutura das membranas, de modo a interferir na cristalinidade das diferentes composições. A membrana CS + 10% PCB apresentou um maior grau de intumescimento após 48h em solução de água destilada (pH = 5,5). A micrografia de MEV revelou que a presença da argila na composição CS/PVA (1:4) + 10% PCB + 3% AN promoveu boa dispersão e distribuição do PCB na matriz CS/PVA, evidenciando possivelmente uma boa interação entre ambos os componentes PCB/AN. Sendo assim, as membranas estudadas nessa pesquisa, apresentaram propriedades adequadas para serem usadas como curativos, tendo como destaque a membrana CS + 10% PCB que apresentou características compatíveis para tal aplicação.

**Palavras-chaves:** quitosana, PVA, pó da casca da banana, argila, membranas, curativos.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Estrutura da pele com os principais tecidos: epiderme, derme e hipoderme .....	6
<b>Figura 2.</b> Fases do processo de cicatrização: (I) inflamatória; (II) proliferativa; e (III) maturação .....	8
<b>Figura 3.</b> Estrutura química da quitosana .....	10
<b>Figura 4.</b> Reações para a obtenção do PVA .....	13
<b>Figura 5.</b> Representação esquemática da estrutura do argilomineral montmorilonita .....	17
<b>Figura 6.</b> Fluxograma para obtenção da membrana PVA .....	19
<b>Figura 7.</b> Fluxograma para obtenção da membrana CS .....	20
<b>Figura 8.</b> Banana Maçã madura .....	21
<b>Figura 9.</b> Cascas de banana cortadas .....	21
<b>Figura 10.</b> Cascas de banana após secagem (a); Pó da casca da banana (b) .....	21
<b>Figura 11.</b> Fluxograma para obtenção das membranas CS e PVA com adição de 10% em massa de PCB .....	22
<b>Figura 12.</b> Fluxograma para obtenção da membrana CS/PVA (1:4) com adição de 10% em massa de PCB .....	23
<b>Figura 13.</b> Fluxograma para obtenção da membrana CS/PVA (1:4) contendo 10% em massa do pó da casca da banana e 3% em massa de argila bentonita .....	24
<b>Figura 14.</b> Micrômetro eletrônico (a) Representação esquemática dos pontos usados na determinação da espessura das membranas .....	26
<b>Figura 15.</b> Distribuição do tamanho médio de partículas para o pó da casca da banana (PCB) e para a argila (AN) .....	29
<b>Figura 16.</b> Aspecto visual das membranas estudadas na pesquisa .....	32
<b>Figura 17.</b> Espectro de FTIR da membrana CS .....	35
<b>Figura 18.</b> Espectro de FTIR da membrana PVA .....	36

<b>Figura 19.</b> Espectro de FTIR do pó da casca da banana .....	37
<b>Figura 20.</b> Espectros de FTIR das membranas: (a) CS; (b) PVA; (c) Pó da casca da banana (PCB); (d) CS + 10% PCB; (e) PVA + 10% PCB; (f) CS/PVA (1:4) + 10% PCB; (g) CS/PVA (1:4) + 10% PCB +3% AN .....	39
<b>Figura 21.</b> Espectro de FTIR da argila bentonita .....	40
<b>Figura 22.</b> Difratoograma de raios-X das membranas CS e PVA .....	41
<b>Figura 23.</b> Difratoogramas de raios-X das membranas: (a) CS; (b) PVA; (c) Pó da casca da banana (PCB); (d) CS + 10% PCB; (e) PVA + 10% PCB; (f) CS/PVA (1:4) + 10% PCB .....	43
<b>Figura 24.</b> Difratoograma de raios-X da argila (AN) .....	44
<b>Figura 25.</b> Difratoograma de raios-X da membrana CS/PVA (1:4) + 10% PCB contendo 3% em massa de argila .....	45
<b>Figura 26.</b> Micrografias de MEV das membranas CS e PVA com aumento de 500x .....	48
<b>Figura 27.</b> Micrografias de MEV das membranas CS + 10% PCB, PVA + 10% PCB e CS/PVA (1:4) + 10% PCB com aumento de 500x .....	48
<b>Figura 28.</b> Micrografia de MEV da membrana CS/PVA (1:4) + 10% PCB + 3% AN .....	49

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1.</b>	Classificação dos diversos materiais de curativo .....	9
<b>Tabela 2.</b>	Composição das membranas estudadas .....	24
<b>Tabela 3.</b>	Valores médios de espessura para as diferentes composições de membranas .....	34
<b>Tabela 4.</b>	Valores de grau de intumescimento para as membranas estudadas na pesquisa, em solução de água destilada .....	46

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIACES**

AN – Argila bentonita

CS – Quitosana

CS+PCB – Quitosana com p da casca da banana

CS/PVA+PCB – Quitosana/poli(lcool vinílico) com p da casca da banana

CS/PVA+PCB+AN – Quitosana/poli(lcool vinílico) com p da casca da banana e argila bentonita

d(001) – Espaçamento basal no plano (001)

DRX – Difractometria de raios-X

FTIR – Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier

MEV – Microscopia eletrônica de varredura

PCB – P da casca da banana

PVA – Poli(lcool vinílico)

PVA+PCB – Poli(lcool vinílico) com p da casca da banana



## 1. INTRODUÇÃO

A pele desempenha um papel muito importante no ser humano, pois atua como interface entre o ambiente externo e o organismo, sendo, portanto, considerado um dos principais órgãos do corpo. Desse modo, torna-se bastante suscetível a ataques externos, como cortes, lesões e queimaduras (BOROJEVIC et al., 1999; OLIVEIRA et al., 2012). O processo de cicatrização torna-se, portanto, fundamental, tendo em vista que quanto mais rápido acontecer, menor será o tempo de exposição do organismo a uma série de patógenos (SPERANDIO, 2009). Os curativos estão cada vez mais sendo utilizados no processo de cicatrização de lesões cutâneas, no qual pode ser encontrado nas mais diversas formulações, como *sprays*, géis, pomadas e filmes poliméricos. Um curativo para ser considerado ideal/compatível para ser utilizado no tratamento de lesões cutâneas deve ser atóxico, não alérgico, apresentar absorvência, propriedades de barreira, flexibilidade e biodegradabilidade. Além do efeito antimicrobiano que favorece no tratamento e cicatrização de feridas de modo mais rápido e eficiente (KORTING et al., 2011; KAMEL et al., 2017; CAMPOS et al., 2015).

Segundo Malagutti et al. (2014) a capacidade de manter úmida a região lesionada é um fator essencial e de grande importância para a cicatrização cutânea, uma vez que a umidade influencia na ação das enzimas que atuam diretamente no processo cicatrizante. Entretanto, para o desenvolvimento de curativos, é interessante levar em consideração as necessidades de uma lesão em relação ao ambiente local, tais como níveis ótimos de pH, isolamento térmico pela evaporação, níveis adequados de hidratação, permanecer livre de material estranho e tecido necrótico e manter o controle de bactéria (MALAGUTTI et al., 2014). Franco et al. (2016) descreveram que a escolha do curativo depende de vários fatores, como tamanho, profundidade, localização, grau de exsudação e nível de contaminação da ferida. Atualmente, os curativos disponíveis no mercado são geralmente feitos com quitosana, ácido hialurônico, colágeno e silicone (DREIFKE et al, 2015).

Dentre os polímeros naturais, a quitosana (CS) tem se destacado para aplicação nesse segmento devido ser um polímero natural obtido a partir da desacetilação alcalina da quitina, sendo extraído principalmente de exoesqueletos de artrópodes e alguns fungos. Além disso, possibilita produzir diferentes misturas poliméricas e apresenta inúmeras propriedades interessantes para aplicação na engenharia de tecidos, tais como

biocompatibilidade, biodegradabilidade, atoxicidade, acelera a recuperação de lesões, estimula os efeitos do sistema imunológico, além de ser considerado como um composto fungistático, bacteriostático e anticoagulante, sendo por estas razões, alçada a uma posição de destaque para uso na elaboração de curativos. Pode ser empregada em formatos variados, como em géis, filmes, arcabouços, nanopartículas e *scaffolds*. (RINAUDO, 2006; FRANCO et al., 2016). Muzzarelli (1997) estudou as atividades enzimáticas humanas relacionadas à administração de derivados de quitina. Ueno et al. (2001) avaliou os efeitos da quitosana na produção de matriz extracelular pelos fibroblastos e na produção de fatores de crescimento de macrófagos, avaliando assim o efeito estimulante da quitosana no processo de cicatrização.

Contudo, a quitosana apresenta algumas limitações em relação a sua maleabilidade e resistência mecânica. Com o intuito de melhorar as propriedades mecânicas, tem-se utilizado a mistura da mesma com outros hidrogéis poliméricos sintéticos, como o poli(álcool vinílico) (PVA). O PVA é um polímero sintético obtido através da polimerização do acetato de vinila, seguida de reação de hidrólise do poli(acetato de vinila) em poli(álcool vinílico). Além do mais, apresenta diversas propriedades relevantes, tais como consistência macia quando na forma de membrana, atoxicidade, biodegradabilidade, biocompatibilidade, excelente transparência e resistência química, se revelando como forte candidato para uso em curativos (ARANHA et al., 2001; JUVENCIO, 2017).

Chellamani et al. (2012) desenvolveram materiais para tratamento de feridas a partir do poli(álcool vinílico) (PVA) misturado com quitosana, utilizando a técnica de eletrofição. Morgado et al. (2014) prepararam membranas assimétricas de PVA/quitosana para uso como curativo ideal, pelo método de inversão de fase assistida com dióxido de carbono supercrítico. Mais recentemente, Morgado e colaboradores (2017) produziram membranas de PVA/quitosana carregadas com ibuprofeno como uma alternativa eficiente para cicatrização de ferimentos. Guimarães (2018) estudou hidrogéis de quitosana/PVA/argila contendo o fármaco ibuprofeno pelo método de evaporação de solvente para uso potencial no tratamento e regeneração de tecidos lesionados. Estes trabalhos comprovam o potencial da mistura CS/PVA ou PVA/CS no tratamento e cicatrização de feridas.

No decorrer do tempo, o homem descobriu que as frutas possuem não só um grande valor nutritivo, mas também efeito medicinal, estando hoje entre os maiores

agentes terapêuticos dados pela natureza. A banana é amplamente cultivada em vários países, incluindo o Brasil, tendo grande importância nutricional devido ser um forte aliado no tratamento de distúrbios gastrointestinais. Dentre esses agentes terapêuticos, destaca-se a casca da banana, que corresponde de 30% a 40% do peso da fruta, sendo conhecida popularmente como cicatrizante em virtude da presença de metabólitos secundários como taninos. A casca de banana é geralmente usada como medicamento caseiro para muitos problemas de pele, como alergias, contusões e irritação da pele (LINO et al., 2011; MAINA et al., 2012). Lino et al. (2011) avaliaram as propriedades inflamatórias, antimicrobianas e cicatrizantes dos taninos da casca de banana. Segundo Pereira et al. (2014), a propriedade curativa da casca de banana está relacionada à presença de taninos no epicarpo da fruta. Segundo Ono et al. (1998), o extrato alcoólico da banana possui atividade antimicrobiana contra *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*.

Poucos estudos têm sido publicados retratando de membranas à base de quitosana e casca de banana (KAMEL et al., 2017). Tendo em vista as propriedades apresentadas por ambos os materiais, a combinação destes com o PVA e a argila surge como uma alternativa viável para obtenção de curativos biodegradável, funcional e de custo acessível, constituídos a partir de compostos existentes na natureza que promova umidade adequada e atividade antimicrobiana, com a finalidade de acelerar o processo de reparo e cicatrização de lesões cutâneas.



## **2. OBJETIVOS**

### **Objetivo Geral**

Este trabalho teve como finalidade preparar e caracterizar membranas à base de quitosana (CS), poli(álcool vinílico) (PVA), pó da casca de banana madura e argila bentonita, de modo a se obter uma matriz dérmica, para ser testada e aplicada como curativo.

### **Objetivos Específicos**

- Preparar o pó da casca da banana (PCB) por secagem em estufa;
- Preparar membranas de quitosana (CS) e poli(álcool vinílico) (PVA) puras, bem como a composição CS/PVA (1:4) m/v, incorporando 10% em massa do pó da casca da banana (PCB) em relação a massa total do polímero (CS/PVA);
- Preparar a membrana CS/PVA(1:4) + 10% PCB, incorporando-se 3% em massa da argila bentonita em relação a massa total do polímero (CS/PVA);
- Analisar o aspecto visual e medir a espessura das membranas;
- Caracterizar o pó da casca da banana por análise granulométrica, atividade de água, espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), difratometria de raios-X (DRX);
- Caracterizar as membranas através das técnicas de FTIR e DRX;
- Determinar o grau de intumescimento das membranas, assim como analisar sua morfologia por microscopia eletrônica de varredura (MEV).

### **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1 PELE**

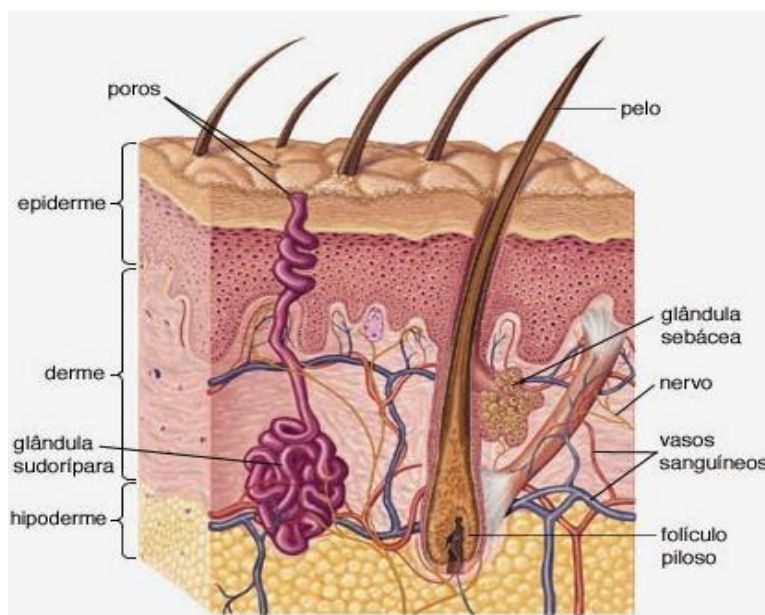
A pele é considerada o maior e principal órgão do ser humano, pois atua como interface entre o organismo e o ambiente externo, de modo a promover uma proteção contra fatores físicos, químicos e microbiológicos. Além disso, apresenta funções importantes, uma vez que, garante a integridade própria bem como do organismo interno, controlando a absorção, secreção de líquidos e a temperatura, protegendo contra agressões de agentes externos e da absorção de luz ultravioleta, atuando no metabolismo da vitamina D e, ainda, apresentando funções sensoriais e estéticas (BOROJEVIC et al., 1999; HARRIS, 2005).

A pele é constituída essencialmente por três camadas de tecidos: uma camada superior – a epiderme; uma camada intermediária – a derme; e uma camada profunda – a hipoderme ou tecido celular subcutâneo (Figura 1).

A epiderme apresenta uma estrutura impermeável e compacta a qual é perfurada por poros dos folículos pilossebáceos e das glândulas com origem na derme. Além disso, é formada por diversas camadas de células achatadas justapostas, chamadas de queratinócitos (JUNQUEIRA et al., 1999; HARRIS, 2005). Segundo Guirro e Guirro (2004), a epiderme é constituída de quatro a cinco camadas, as quais são divididas em camada basal, espinhosa, granulosa, lúcida e camada córnea. Apresenta uma espessura que varia de 0,04 a 1,5 mm, de modo que em sua área mais profunda, encontra-se uma rede de colágeno com fibras longitudinais possuindo uma estrutura emaranhada com aberturas para os canais sudoríferos e para os folículos pilossebáceos (SPENCE, 1991; SOUZA e VARGAS, 2004).

A derme é uma camada bastante vascularizada que apresenta uma variação considerável de espessura nas diferentes partes do corpo, atingindo uma média de 2mm, e sua principal função é fornecer nutrientes e oxigênio à epiderme, por difusão (PALASTANGA et al., 2000). Souza et al. (2004) descreve a derme como sendo uma camada de tecido conjuntivo, composta principalmente por fibras colágenas e elastina, que se encontra abaixo da epiderme dando-a sustentação. Nessa camada de pele, estão alojadas as estruturas anexas da pele, como as glândulas sudoríparas, os folículos de

pêlos, as glândulas sebáceas e o músculo eretor do pêlo, além de vasos sanguíneos, linfáticos e estruturas nervosas. Enquanto que, a hipoderme é constituída por um tecido conectivo gorduroso, tecido adiposo, contendo nervos e vasos sanguíneos. De tal forma que a função do tecido adiposo é regular a temperatura, agir como termoisolante, suprimento de energia, proteção e suporte (BROUGHTON et al, 2006; GURTNER et al., 2008).



**Figura 1.** Estrutura da pele com os principais tecidos: epiderme, derme e hipoderme.

Fonte: MONTAGNA; EBLING (2016).

Com o passar do tempo, a pele pode sofrer algumas alterações fisiológicas, na qual estão atribuídas a diversos fatores, como defeito genético, meio ambiente (principalmente exposição solar), surgimento de doenças e expressões de genes do envelhecimento. Além disso, pelo fato da pele ser um órgão que está bastante exposto ao ambiente, acaba sendo alvo de ataques externos, como cortes, lesões e queimaduras (BOROJEVIC et al., 1999; OLIVEIRA et al., 2012).

### 3.2 FERIDAS CUTÂNEAS E PROCESSO DE CICATRIZAÇÃO

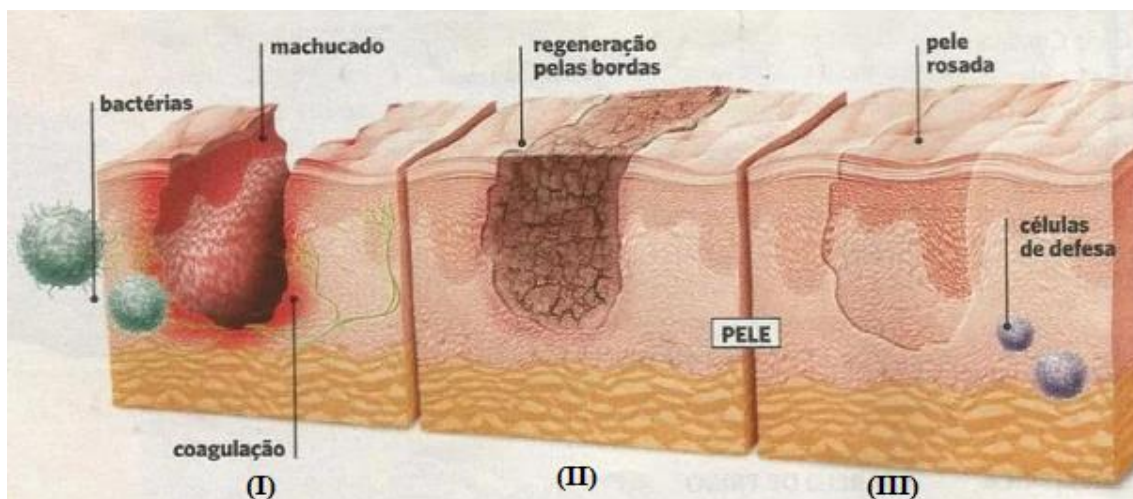
As feridas cutâneas são originadas quando a pele sofre danos em sua estrutura devido a agentes externos, de modo a causar um rompimento tecidual. Sendo assim, a ferida pode ser definida como sendo uma interrupção na continuidade de um tecido, na

qual é causada por traumas químicos, físicos, mecânicos ou até mesmo devido a uma afecção clínica, que, uma vez desencadeada, ativa as defesas orgânicas para o contra-ataque (MALAGUTTI et al., 2014).

Dependendo da intensidade do trauma, podendo ocorrer em maior ou menor extensão, as feridas podem ser classificadas como agudas ou crônicas. As feridas agudas apresentam início e cura rápida, e não apresentam expressivas complicações quanto à cicatrização. Além disso, podem ser ocasionadas intencionalmente, ocorridas por exemplo, no pós-operatório, ou ocasionadas por acidentes, como queimaduras, mordeduras, lacerações, etc. (DEALEY, 2008). Já as feridas crônicas podem-se originar a partir de um longo processo agudo, com perda de tecido, no qual apresentam elevado nível de exsudato, em virtude do extenso período de inflamação, de modo a causar destruição dos tecidos adjacentes, tornando-se mais propensos a infecções (BLANES et al., 2014; PATRULEA et al., 2015).

Devido à grande diversidade de feridas existentes, o campo de estudo para cicatrização de feridas tem se tornado bastante amplo. A cicatrização é caracterizada por um conjunto de processos aos quais são iniciados posteriormente a ocorrência de uma lesão, de tal forma que diversos eventos celulares, bioquímicos e moleculares passam a interagir com o intuito de promover a reconstituição completa da estrutura e da funcionalidade do tecido comprometido (CAMPOS et al., 2007; SILVA et al., 2007).

Segundo Campos et al. (2007), a cicatrização é composta por três fases: fase inflamatória, fase proliferativa ou fibroblástica e fase de maturação ou remodelamento, como mostra a Figura 2. A fase inflamatória tem início logo após a lesão, visto que, propicia a vasodilatação e uma elevação da permeabilidade vascular para a migração de neutrófilos para o ferimento, desse modo, produz radicais livres auxiliando assim na destruição bacteriana, no qual são substituídos progressivamente pelos macrófagos, que são essenciais para a transição para a fase seguinte. Isto é, essa fase é responsável pelo controle do sangramento e pela remoção de micro-organismos, material inorgânico e tecidos desvitalizados. A fase proliferativa é caracterizada pela formação de tecido de granulação, sendo constituído por um leito capilar, fibroblastos, macrófagos, um frouxo arranjo de colágeno, fibronectina e ácido hialurônico. Essa fase geralmente tem início por volta do terceiro dia após a ocorrência da lesão, além disso, é nessa etapa que ocorre a formação da cicatriz. Já na fase de maturação ou remodelamento tem-se uma reorganização das fibras de colágeno (BAUM et al., 2005; SILVA et al., 2007; TAZIMA et al., 2008).



**Figura 2.** Fases do processo de cicatrização: (I) inflamatória; (II) proliferativa; e (III) maturação.  
 Fonte: O Fantástico Corpo Humano. Disponível em: <https://amebioblog.wordpress.com/tag/cicatrizacao/> (novembro/2017).

O processo de cicatrização pode ser interferido por diversos fatores sistêmicos, como condição nutricional, idade, uso de medicamentos, má vascularização, doenças de base e tabagismo; e por diferentes fatores locais, como presença de tecido necrótico, infecção local, suprimento sanguíneo inadequado para a ferida, além de agentes tópicos. Sendo assim, a existência de uma infecção consiste em provocar uma intensa barreira para o processo de cicatrização, visto que, as bactérias presentes na pele podem colonizar a ferida e, conseqüentemente, haver uma deficiência do fluxo sanguíneo para a lesão, diminuindo desta forma a taxa de recuperação (SILVA et al., 2007; ALVES et al., 2011).

Malagutti et al. (2014) relataram que a capacidade de manter úmida a região lesionada é um fator essencial e de grande importância para a cicatrização cutânea, uma vez que, a umidade influencia na ação das enzimas que atuam diretamente no processo cicatrizante. Dessa forma, o processo de cicatrização torna-se, portanto, fundamental, tendo em vista que quanto mais rápido acontecer, menor será o tempo de exposição do organismo a uma série de patógenos.

Segundo Campos (2007), a utilização de membranas para o recobrimento de feridas tem sido uma alternativa bastante viável para o tratamento de ferimentos, uma vez que, buscam substituir a função da pele perdida, bem como protegê-la da perda de fluidos e proteínas, além de prevenir a invasão de bactérias, de modo a melhorar e estimular a cicatrização. Dessa maneira, o uso de polímeros biocompatíveis como a quitosana, pectina, gelatina, poli( $\epsilon$ -caprolactona), ácido hialurônico, dentre outros, tem ganhado bastante destaque em aplicação para tratamento de feridas.

### 3.3 CURATIVOS

Os curativos estão cada vez mais sendo utilizados no processo de cicatrização de lesões cutâneas, no qual, pode ser encontrado nas mais diversas formulações, como *sprays*, géis, pomadas e filmes poliméricos. O tratamento das feridas engloba tanto métodos clínicos como cirúrgicos, e o curativo é o tratamento clínico mais comumente utilizado para auxiliar na reparação dos tecidos (CHUNG et al., 2009). Para que um curativo seja considerado ideal/compatível, o mesmo deve ser atóxico, não alérgico, apresentar absorvência, propriedades de barreira, flexibilidade, biodegradabilidade além do efeito antimicrobiano que favorece no tratamento e cicatrização de feridas de modo mais rápido e eficiente (KORTING et al., 2011; KAMEL et al., 2016; CAMPOS et al., 2015). Segundo Malagutti et al. (2014) a escolha de um curativo ideal vai depender de algumas características, como acessibilidade e custo, proteção contra contaminação, capacidade de absorção, capacidade de aliviar a dor, devem ser termolábeis e isolantes térmicos, bem como apresentar maleabilidade e transparência.

Contudo, quando se deseja desenvolver determinado curativo, é importante levar em consideração as necessidades de uma lesão em relação ao ambiente local, tais como níveis ótimos de pH, isolamento térmico pela evaporação, níveis adequados de hidratação, permanecer livre de material estranho e tecido necrótico e manter o controle de bactéria (MALAGUTTI et al., 2014). Fan et al. (2011) sugerem que os curativos sejam classificados em curativos passivos, princípios ativos, inteligentes e biológicos, conforme Tabela 1.

**Tabela 1.** Classificação dos diversos materiais como curativos.

Curativos passivos	Curativo não-aderente Filme transparente Espuma polimérica Hidrocoloide Hidrogel
Curativos com princípios ativos	Alginato Carvão ativado Placas de prata

Curativos inteligentes	Matriz de colágeno Matriz de celulose
Curativos biológicos	Curativos biológicos

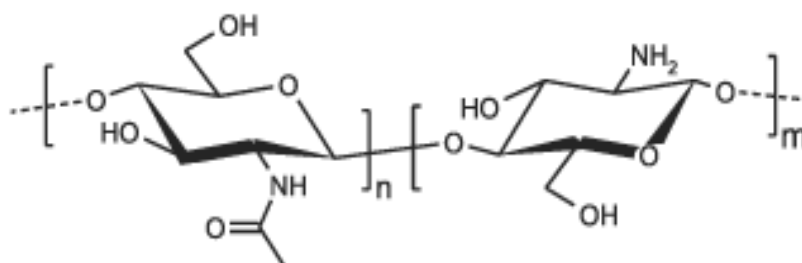
Fonte: FAN et al. (2011).

Franco et al. (2016) descreveram que a escolha do curativo depende de diversos fatores, como tamanho, profundidade, localização, grau de exsudação e nível de contaminação da ferida. Atualmente, os curativos disponíveis no mercado são geralmente feitos com quitosana, ácido hialurônico, colágeno e silicone (DREIFKE et al, 2015).

Segundo Trinca et al (2017), o desenvolvimento de biomateriais com o intuito de regenerar a pele é de grande interesse científico e clínico, uma vez que, estes novos materiais são comumente usados na forma de curativos.

### 3.4 QUITOSANA

A quitosana é um polissacarídeo de origem natural, obtido a partir da desacetilação alcalina da quitina, sendo extraído principalmente de exoesqueletos de artrópodes e alguns fungos pertencentes aos gêneros *Mucor* e *Zygomycetes*. A quitosana é um copolímero linear, com ligação  $\beta$ -1,4, junção entre glucosamina (2-amino-2-desoxi- $\beta$ -D-glucose) e quantidades menores de N-acetilglucosamina (Figura 3) (CAMPOS, 2007; NASCIMENTO et al., 2009).



**Figura 3.** Estrutura química da quitosana.

Fonte: SILVA et al. (2006).

Estudos revelam que a quitosana representa um excelente veículo no tratamento de lesões cutâneas, de modo a acelerar o processo de cicatrização. Dessa maneira, esse polímero tem alçado uma posição de destaque no que se diz a respeito à elaboração de curativos e substitutos de pele, devido as suas inúmeras propriedades interessantes, tais como biodegradabilidade, biocompatibilidade, atoxicidade, por conter propriedades antimicrobianas e antifúngicas, ser hemostática, além de possuir a função analgésica (FRANCO, 2014; LOCINTO, 2012; NASCIMENTO, 2012; Z. LU et al., 2017). Devido a essas propriedades bastante relevantes, a quitosana apresenta vantagem em relação aos polímeros sintéticos, uma vez que, na sua grande maioria, são principalmente tóxicos e não-biodegradáveis (LARANJEIRA et al., 2009; ALVES et al., 2016).

Além disso, a quitosana estimula a atividade de macrófagos e fibroblastos, de tal forma a resultar numa maior formação de tecido de granulação. Com todas essas características, a quitosana é encontrada em diferentes aplicações, especialmente nas áreas de farmácia, alimentação e cosméticos, podendo ser empregada em formatos variados, como géis, filmes, arcabouços, nanopartículas e *scaffolds* (RINAUDO, 2006; SILVA et al., 2006; FRANCO et al., 2016).

Para a solubilização da quitosana, geralmente utiliza-se o ácido acético ou o fórmico. Outros ácidos podem ser utilizados para a preparação da solução de quitosana, porém, necessita de um maior tempo de aquecimento e agitação, tais como, ácido clorídrico, ácido nítrico, fosfórico e perclórico (GONSALVES et al., 2011). Tonhi e Plepis (2002) mostraram que blendas de colágeno-quitosana podem ser produzidas em meio ácido, de modo a obter boas propriedades biológicas e mecânicas a serem aplicadas para diversos fins, como bandagens, géis injetáveis, liberação controlada de fármacos, dentre outras.

Diversas pesquisas utilizando a quitosana são desenvolvidas com o intuito de melhorar o processo de cicatrização. Campos et al. (2015) estudaram membranas de quitosana plastificadas e neutralizadas com sorbitol como substitutos da pele. Os resultados mostraram membranas com propriedades desejáveis, com boa flexibilidade, permeabilidade ao vapor de água e alta porcentagem de alongamento. Okamoto et al. (2003) estudaram os efeitos da quitina e quitosana na síntese de colágeno na cicatrização de feridas. Sónia et al. (2014) desenvolveram um hidrogel termorresistente usando



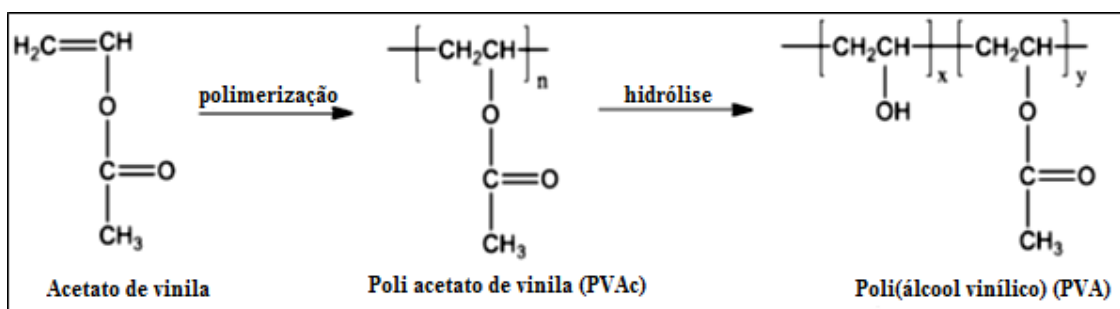
quitosana com grau de desacetilação de 95% e agarose, os resultados demonstraram que o hidrogel acelerou o processo de cicatrização e promoveu a ausência de uma reação inflamatória em lesões de pele. Oryan et al. (2017) analisaram a eficácia do arcabouço de quitosana na cicatrização de pele, ossos e cartilagens. Os resultados mostraram que os materiais de quitosana promoveram uma boa regeneração tecidual, de modo que induziram a migração de células inflamatórias e atividade angiogênica favorecendo uma alta vascularização do neo-tecido.

A quitosana tem também se destacado devido sua a atividade antimicrobiana contra bacilos Gram positivos, especialmente contra *Staphylococcus aureus*, *S. epidermis*, *Bacillus subtilis*, e bactérias Gram negativas como *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* e *Proteus vulgaris*. Estes agentes estão presentes nas feridas criticamente colonizadas, retardando a cicatrização, e consequentemente degradando o tecido em processo de epitelização por liberação de toxinas dessas bactérias (KIM et al.,1997). Qi et al. (2004) avaliaram a atividade antimicrobiana in vitro de nanopartículas de quitosana e nanopartículas carregadas de cobre contra vários micro-organismos. Os resultados mostraram que essas nanopartículas podem inibir o crescimento de várias bactérias como *E. coli*, *S. choleraesuis*, *S. typhimurium* e *S. aureus*. Rao et al. (1997) mostraram que a quitosana desempenha um papel importante na homeostase, através de um efeito coagulante, contudo de maneira independente ao sistema clássico da cascata de coagulação.

Sendo assim, a quitosana é considerada como um potencial material para elaboração de curativos, devido as suas propriedades favoráveis ao uso tópico e aos excelentes resultados na aceleração do processo de cicatrização.

### 3.5 POLI(ÁLCOOL VINÍLICO) (PVA)

O poli(álcool vinílico) (PVA) é um polímero sintético obtido através da polimerização do acetato de vinila seguida da reação de hidrólise do poli(acetato de vinila) em poli(álcool vinílico), como mostra a Figura 4. Segundo Peppas (1987) é um polímero iônico altamente hidrofílico devido à presença de grupos hidroxilas (-OH) ligados em sua molécula. De tal forma que sua reticulação por agentes químicos e físicos se deve justamente a reação desses agentes com as hidroxilas, podendo assim obter redes tridimensionais (MARTENS et al., 2000).



**Figura 4.** Reações para a obtenção do poli(álcool vinílico) (PVA).

Fonte: JODAR (2014).

Esse polímero tem se destacado em diversas aplicações na engenharia de tecidos pelo fato de que o mesmo apresenta inúmeras propriedades relevantes, tais como consistência macia quando na forma de membrana, atoxicidade, biodegradabilidade, biocompatibilidade, ótima processabilidade, excelente transparência, resistência química, térmica e mecânica, além de boas propriedades elásticas, de modo a se revelar como forte candidato para uso em curativos (DEMERLIS et al., 2003; LIN et al., 2006; FAN et al., 2016; KANIMOZHI et al., 2016). Tanto o grau de polimerização quanto o grau de hidrólise, a quantidade de grupos acetatos no polímero e a massa molar, são fatores que influenciam na cristalinidade, solubilidade, adesão, força mecânica bem como nas propriedades químicas do material resultante (MANSUR et al., 2007; PON-ON et al., 2014).

Pode ser utilizado nas mais diversas áreas, podendo estar na forma isolada ou associada a outros polímeros e materiais. Sua aplicação se encontra para os mais diversos fins, tais como produção de lentes de contato, cateteres, membranas de diálise, cartilagens, discos intervertebrais, pele e pâncreas artificiais, além de ser aplicado na forma de géis, hidrogéis e filmes para o desenvolvimento de sistemas de liberação controlada de fármacos bem como na produção de arcabouços para aplicações na engenharia de tecido ósseo (LEE et al., 2001; NUTTELMAN et al., 2001; PON-ON et al., 2014).

Além do mais, características como flexibilidade, absorção de proteínas, grande capacidade de absorção de água e intumescimento em fluidos corpóreos e biocompatibilidade, tem demonstrado o quanto esse polímero tem sido importante para aplicação como curativo cutâneo, uma vez que, apresenta a capacidade de simular tecidos orgânicos (MANSUR et al., 2007; COSTA et al., 2008). Diversos estudos estão sendo realizados utilizando o PVA, associando o mesmo com outros materiais. Yuvaraja e

Pathak (2017) estudaram as propriedades antimicrobianas e cicatrizantes de esferas de quitosana/poli(álcool vinílico)/óxido de zinco. Os resultados mostraram que as esferas de CS/PVA/ZnO apresentaram um forte efeito antimicrobiano, cicatrização de feridas, hemocompatibilidade e biocompatibilidade. Morgado et al. (2014) avaliaram membranas assimétricas de poli(álcool vinílico) com quitosana visando aplicação como curativo. Estudos *in vitro* revelaram que os curativos apresentaram excelentes propriedades de biocompatibilidade e biodegradação para a cicatrização de feridas cutâneas. Ainda, pode-se citar a aplicação do PVA para a confecção de arcabouço permanente para cartilagem artificial, pâncreas, osso e válvula aórtica do coração (LEE et al., 2001).

### 3.6 BANANA

A banana é uma fruta que engloba um número de espécies ou híbridos, no qual pertence exclusivamente ao gênero *Musa* da família Musaceae. De modo que os híbridos estão relacionados de acordo com a nomenclatura popular, tais como banana prata, branca, nanica, da terra, maçã ou banana d'água. É considerado como um dos principais recursos alimentícios no mundo, depois do arroz, milho e leite, sendo, portanto, um dos alimentos mais importantes a nível mundial (SINGH et al., 2016). Economicamente, é considerada como a quinta safra de alimentos agrícolas em termos de comércio, depois do café, cereais, açúcar e cacau. Sendo cultivada em mais de 130 países, principalmente nas áreas tropicais e subtropicais (AURORE et al., 2009). Além disso, essa fruta exerce muitos efeitos positivos tanto no bem-estar quanto na saúde do homem, visto que, apresenta diversos compostos bioativos como fenólicos, amins biogênicas, carotenoides e fitoesteróis, sendo eficazes na proteção do corpo contra vários estresses oxidativos (PEREIRA et al., 2014).

Com o passar dos anos, tem-se descoberto que as frutas possuem não apenas um grande valor nutritivo, mas também efeito medicinal, estando hoje entre os maiores agentes terapêuticos dados pela natureza. A banana é bastante cultivada em diversos países, incluindo o Brasil, tendo em vista que a mesma apresenta uma grande aceitação por parte da população devido aos seus aspectos sensoriais e suas propriedades nutricionais, sendo um forte aliado no tratamento de distúrbios gastrointestinais, podendo ser consumida *in natura* ou processada e sua casca pode ser comumente usada no tratamento de feridas (NASCIMENTO et al., 2008). É considerada como uma importante fonte de

mono e oligossacarídeos, ácido ascórbico e sais minerais, tais como fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), sódio (Na), ferro (Fe), magnésio (Mg) e manganês (Mn), além disso, contém em sua composição vitaminas do complexo B, carotenoides precursores de vitamina A e fitoesteróis ( $\beta$ -sitosterol, campesterol e estigmasterol). Apresentam também flavonoides e ácidos fenólicos conjugados e livres à parede celular (SUN et al., 2002; WALL, 2006; LAKO et al., 2007; AURORE et al., 2009).

Diversos estudos têm demonstrado o poder terapêutico da banana, uma vez que, o seu consumo pode prevenir o câncer de colón, desordens intestinais, diarreia bem como melhorar o trânsito gastrointestinal, além disso, pode aumentar a concentração de melatonina sérica e o nível de antioxidantes no sangue, de modo a promover uma eficácia na proteção do organismo contra o estresse oxidativo (SAE-TEAW et al., 2013; ANYASI et al., 2013) .

A casca da banana, no Brasil, é conhecida pelos seus usos medicinais populares, como cicatrizantes de feridas, principalmente oriundos de queimaduras, em virtude da presença de metabólicos secundários como taninos. Esses bioativos de origem natural são alternativas eficazes e econômicas, e por esta razão, seus produtos podem ser usados para retardar ou inibir a multiplicação microbiana tão encontradas em infecções cutâneas. Podendo ser utilizada para fazer uma cataplasma em feridas com o intuito de amenizar o inchaço e a dor assim como reduzir a irritação da picada de mosquitos (PEREIRA et al., 2014). Sendo assim, é geralmente usada como medicamento caseiro para muitos problemas de pele, como alergias, contusões e irritação da pele. Pode tratar ainda acne, assaduras, irritação de picadas de mosquito, curar as verrugas e reduzir as rugas (LINO et al., 2011; MAINA et al., 2012).

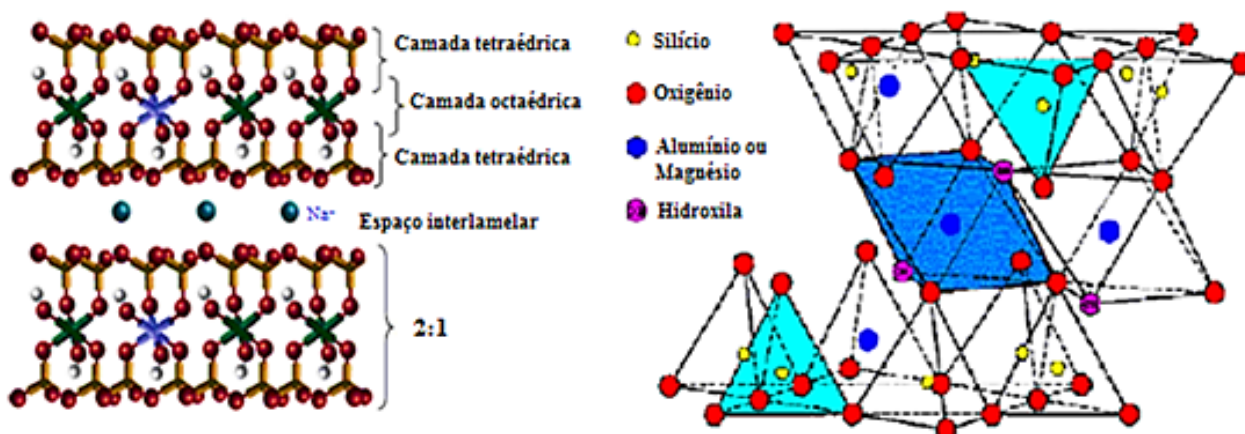
Franco et al. (2016), estudaram a atividade antibacteriana das membranas de quitosana associadas ao extrato de casca de banana. Seus resultados demonstraram que as membranas podem inibir o crescimento das bactérias *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli* quando em contato com a pele. Kapadia et al. (2015) relataram atividade antimicrobiana da casca de banana nas cepas *Porphyromonas gingivalis* e *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*. Kamel et al. (2016) também investigaram o uso da casca da banana para obtenção de nanocompósitos à base de quitosana como curativos de feridas. As propriedades antimicrobianas dessas membranas foram investigadas contra as bactérias gram positivas, gram-negativas e leveduras. Os resultados mostraram que a combinação da quitosana/pó da casca da banana teve uma ação sinérgica com atividade antimicrobiana mais alta para a composição contendo 10% em massa do pó casca da

banana. Além disso, a cepa *Candida albicans* foi a mais sensível para estas composições. Segundo Somey et al., (2002); Mokbel et al., (2005); Chabuck et al., (2013), a casca da banana apresenta atividade antioxidante bem maior do que a polpa de banana devido apresentar uma maior concentração de compostos fenólicos e minerais. Além disso, apresenta propriedades curativas e forte atividade antimicrobiana contra bactérias, fungos e leveduras.

### 3.7 ARGILA BENTONITA

A argila bentonita pertence ao grupo das esmectitas dioctaédricas, sendo essencialmente constituída de montmorilonita, cerca de 60%, podendo conter outros minerais, caulinita, feldspato e quartzo como impurezas. Além disso, o tamanho das partículas da montmorilonita pode variar desde 2 a 0,1  $\mu\text{m}$  de diâmetro e sua espessura pode chegar até 1 nm (DARÉ et al, 2015). Possui uma estrutura lamelar 2:1, isto é, apresenta duas camadas tetraédricas de sílica e uma camada octaédrica de alumina (Figura 5), no qual estão ligadas entre si através de forças eletrostáticas e interações de Van der Waals, apresentando um espaçamento que pode variar de 10 a 17,5 Å (SANTOS, 1989; DING et al., 2006). Entre as camadas há a presença de lacunas, denominadas galerias ou camadas intermediárias, nas quais encontram-se cátions trocáveis, tais como  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Li}^+$  e  $\text{Ca}^{++}$ , que estão fixados eletrostaticamente, com a finalidade de compensar as cargas negativas que são oriundas de substituições isomórficas que acontecem no reticulado cristalino da argila. Aproximadamente 80% dos cátions trocáveis no argilomineral montmorilonita encontram-se presentes nas galerias ou camadas intermediárias, enquanto que os 20% estão nas superfícies laterais (PAIVA et al., 2008; BARBOSA et al., 2012).

Pode ser classificada de acordo com o seu poder de inchamento. A que apresenta o sódio como cátion trocável, no qual caracteriza-se por exibir uma propriedade específica de inchar quando imersa em água, além de revelar grande tixotropia; e a que apresenta o cálcio e o magnésio como cátion trocável, que caracteriza-se por não exibir inchamento em água, de tal forma que sofre precipitação (SANTOS, 1989; DARÉ et al., 2015).



**Figura 5.** Representação esquemática da estrutura do argilomineral montmorilonita e sua representação tridimensional lamelar  $M_x(Al_{4-x}Mg_x)Si_8O_{20}(OH)_4$ .

Fonte: RODRIGUES (2010).

A argila tem despertado grande interesse por parte de vários pesquisadores, devido suas diferentes propriedades interessantes, tais como capacidade de inchar quando em contato com a água, possibilita a intercalação/esfoliação das camadas do silicato na matriz polimérica, apresenta moderada carga negativa superficial, elevada área específica, alta capacidade de possibilitar a troca de cátions, promove uma sensação boa quando em contato com a pele, apresenta características plásticas e tixotrópicas, além de ser resistente à temperatura e a solventes (PAIVA et al., 2008; DARÉ et al. 2015). Dessa maneira, a incorporação de pequenos teores (~5%) de argila em matrizes poliméricas poderá proporcionar uma melhoria no que diz respeito as propriedades físicas (térmicas e de barreira), químicas e mecânicas. Tal desempenho é resultante da possibilidade das lamelas de silicatos se dispersarem e esfoliarem de forma individual na matriz polimérica (BRITO et al, 2008).

Tais propriedades têm sido bastante relevantes para que a argila possa ser aplicada para diversos fins, seja na área industrial, cosmética ou até mesmo para fins medicinais, como agentes terapêuticos no tratamento de feridas e na inibição de hemorragias. Segundo Carretero et al. (2009) a escolha do argilomineral para determinada aplicação específica irá depender principalmente da característica química e da sua estrutura. Entretanto, quando se deseja utilizar a argila, é importante levar em consideração suas propriedades físicas, físico-químicas bem como sua composição química, ou seja, faz-se necessário estudar as características peculiares da argila, tais como granulometria, morfologia dos cristais em forma de lâminas, substituições isomórficas, área superficial, capacidade de sorção, além das suas propriedades reológicas (RODRIGUES et al., 2013).

A adição de silicatos em camadas, especialmente a montmorilonita, em quitosana tem sido amplamente estudada. Khlibsuwan et al. (2016) desenvolveram comprimidos com matriz de quitosana/argila para liberação controlada de fármacos e avaliaram o efeito do peso molecular e do conteúdo de lubrificante da quitosana. Huang et al. (2017) estudaram hidrogéis de quitosana reforçados com nanotubos de argila natural. Hong et al. (2011) avaliaram a taxa de cisalhamento, propriedades mecânicas e de barreira de filmes compostos por quitosana e argila. Wang et al. (2005) investigaram o efeito do ácido acético e das pontes de hidrogênio formadas entre a quitosana e a montmorilonita. Os resultados evidenciaram que o aumento da carga da argila melhora a estabilidade térmica, aumenta a dureza e o módulo de elasticidades da matriz. E o ácido acético presente na matriz de quitosana influencia na cristalinidade, estabilidade térmica e nas propriedades mecânicas.

Além do mais, ultimamente tem-se realizado estudos que tratam da incorporação da argila em sistemas poliméricos, por exemplo, da quitosana com o poli(álcool vinílico). Guimarães (2018) utilizou a argila bentonita como agente reticulante na preparação de hidrogéis à base de quitosana (CS) e poli(álcool vinílico) (PVA), com o intuito de obter uma matriz dérmica para ser empregada como curativo. Koosha et al. (2015) estudaram nanocompósitos à base de quitosana, poli(álcool vinílico) e montmorilonita, no qual foram preparados pela técnica de eletrofiação. Os resultados evidenciaram que as propriedades mecânicas do nanocompósito foram melhoradas após a incorporação de 1 e 3% em massa de montmorilonita. Kokabi et al. (2007) prepararam através do método de congelamento-descongelamento, hidrogéis à base de poli(álcool vinílico) e argila montmorilonita visando aplicação como curativos. Os resultados mostraram que a quantidade de argila adicionada ao hidrogel contribuíram de forma considerável para a obtenção de características desejáveis, tais como boas propriedades mecânicas, apreciável taxa de transmissão de vapor, inchamento adequado, além de apresentar certa dificuldade para a proliferação de micróbios.

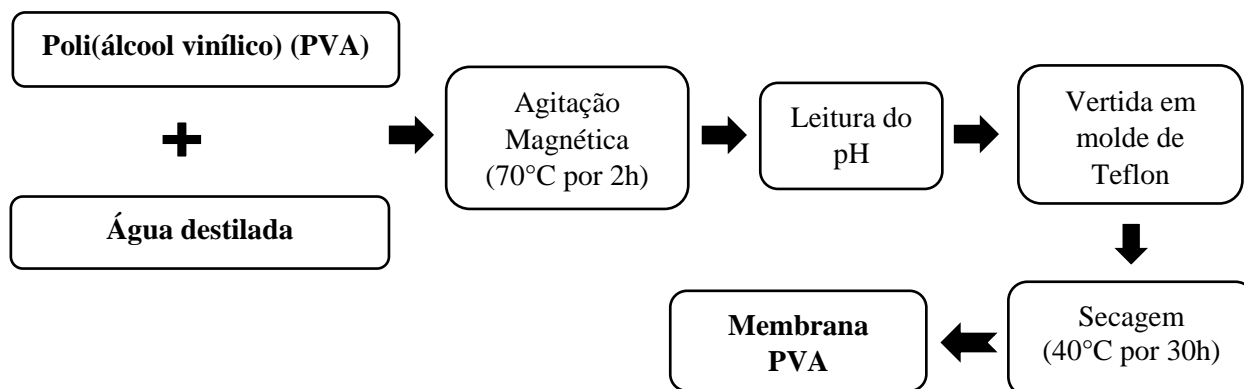
## 4. METODOLOGIA

### 4.1 Materiais

Os materiais utilizados na preparação das membranas foram a quitosana (CS), sob a forma de pó, com grau de desacetilação de 85%, fornecida pela Polymar (Fortaleza – CE); o poli(álcool vinílico) (PVA) com grau de hidrólise de 80% e massa molar ponderal média ( $M_w$ ) de 9.000 a 10.000 g/mol, fornecida pela Sigma-Aldrich, (São Paulo – SP); a banana maçã madura foi adquirida na Feira Livre da cidade de Sapé – PB; e a argila bentonita com granulometria inferior a 74 $\mu$ m, capacidade de troca catiônica de 92 meq/100g de argila doada pela Bentonit União Nordeste (Campina Grande - PB). O ácido acético glacial, fornecido pela Casa da Química Indústria e Comércio Ltda (São Paulo-SP), foi empregado como solvente para preparação das membranas.

### 4.2 Preparação da membrana de poli(álcool vinílico) (PVA)

A solução de PVA a 1% (m/v) foi preparada através da dissolução do pó do polímero em água destilada, sob agitação magnética à 70°C por 2h. Em seguida, aferiu-se o pH ( $4,0 \pm 0,5$ ) e a solução de PVA foi vertida num molde de Teflon com dimensões 10x10 cm. Depois, submeteu-se à evaporação do solvente em estufa com circulação e renovação de ar à 40°C por 30h para a formação da membrana codificada como PVA. O fluxograma de preparação da membrana PVA está representado na Figura 6.

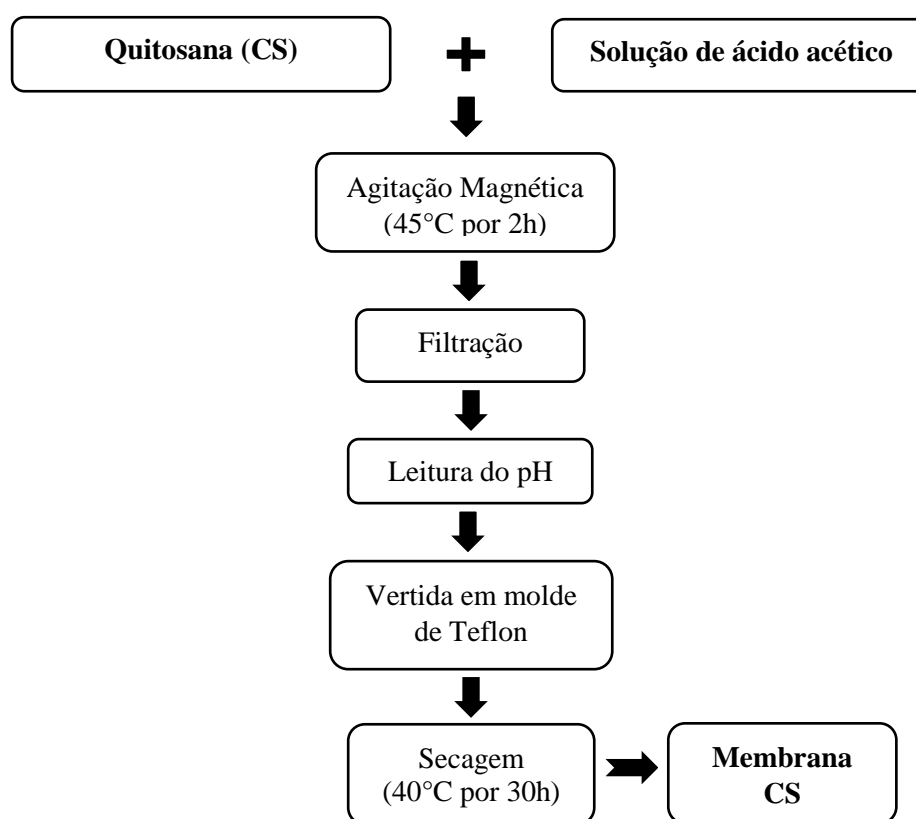


**Figura 6.** Fluxograma para obtenção da membrana PVA.



### 4.3 Preparação da membrana de quitosana (CS)

A solução de CS a 1% (m/v) foi preparada a partir da dissolução da quitosana em ácido acético a 1% v/v. Para a solubilização e homogeneização, a solução foi submetida à agitação magnética à 45°C por 2h. Em seguida, a solução de CS foi filtrada usando uma bomba de vácuo SL 60 – SOLAB, para a retirada dos resíduos insolúveis. Em seguida, fez-se a leitura do pH da solução ( $4,0 \pm 0,5$ ) e verteu-se num molde de Teflon, para então submetê-la à evaporação do solvente em estufa com circulação e renovação de ar à 40°C por 30h para a formação da membrana codificada como CS. O fluxograma de preparação da membrana CS está apresentado na Figura 7.



**Figura 7.** Fluxograma para obtenção da membrana CS.

### 4.4 Preparação do pó da casca da banana (PCB)

As bananas maduras (Figura 8) foram descascadas e suas respectivas cascas, lavadas com água de torneira e cortadas em pedaços pequenos para serem, então, colocadas numa bandeja (Figura 9). Em seguida, essas cascas foram submetidas à

secagem em estufa com circulação e renovação de ar a 120°C por 24h. Após esse período (Figura 10a), as cascas de banana foram trituradas no liquidificador e classificadas numa peneira doméstica de granulometria não definida, visando obter o material sob a forma de pó para uso como carga (agente antimicrobiano) nas membranas (Figura 10b).



**Figura 8.** Banana Maçã madura.



**Figura 9.** Cascas de banana cortadas.



(a)



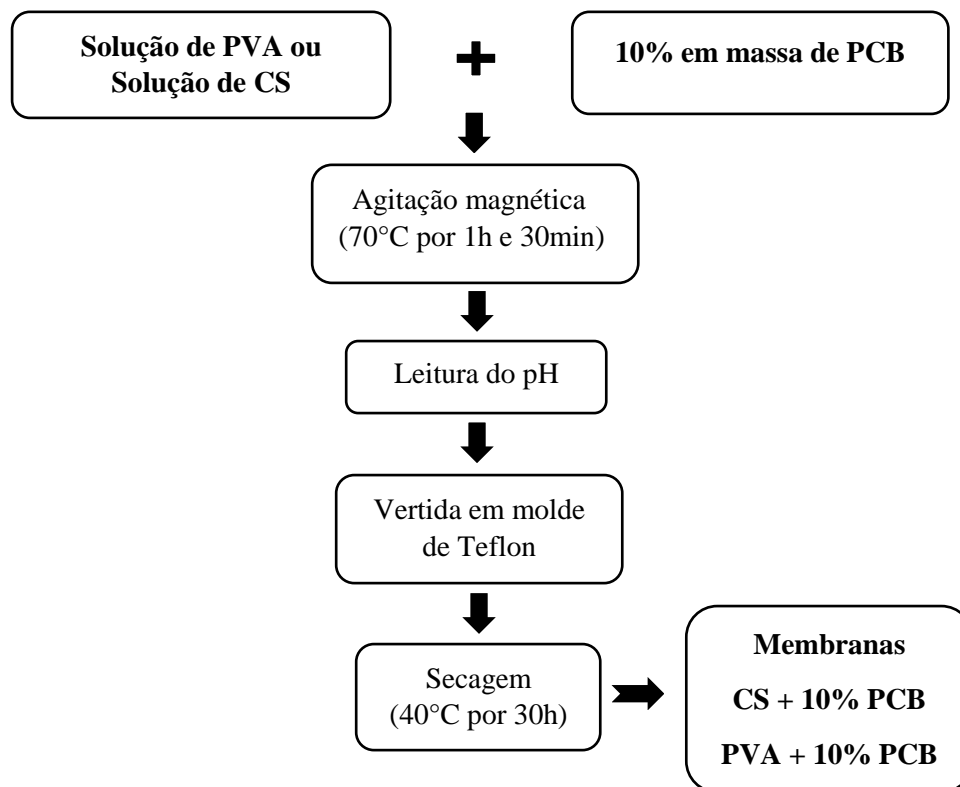
(b)

**Figura 10.** Cascas de banana após secagem (a); Pó das cascas de banana (b).

#### **4.5 Preparação das membranas CS ou PVA com pó da casca da banana**

Após a preparação das soluções CS e PVA, conforme descrita acima, incorporou-se 10% em massa do pó da casca da banana, submetendo-as a agitação magnética à 70°C por 1h e 30min. Em seguida, aferiu-se o pH da solução ( $4,0 \pm 0,5$ ), sendo então, vertida num molde de Teflon e seca em estufa com circulação e renovação de ar à 40°C por 30h para formação da membrana codificada como CS + 10% PCB e PVA + 10% PCB. O

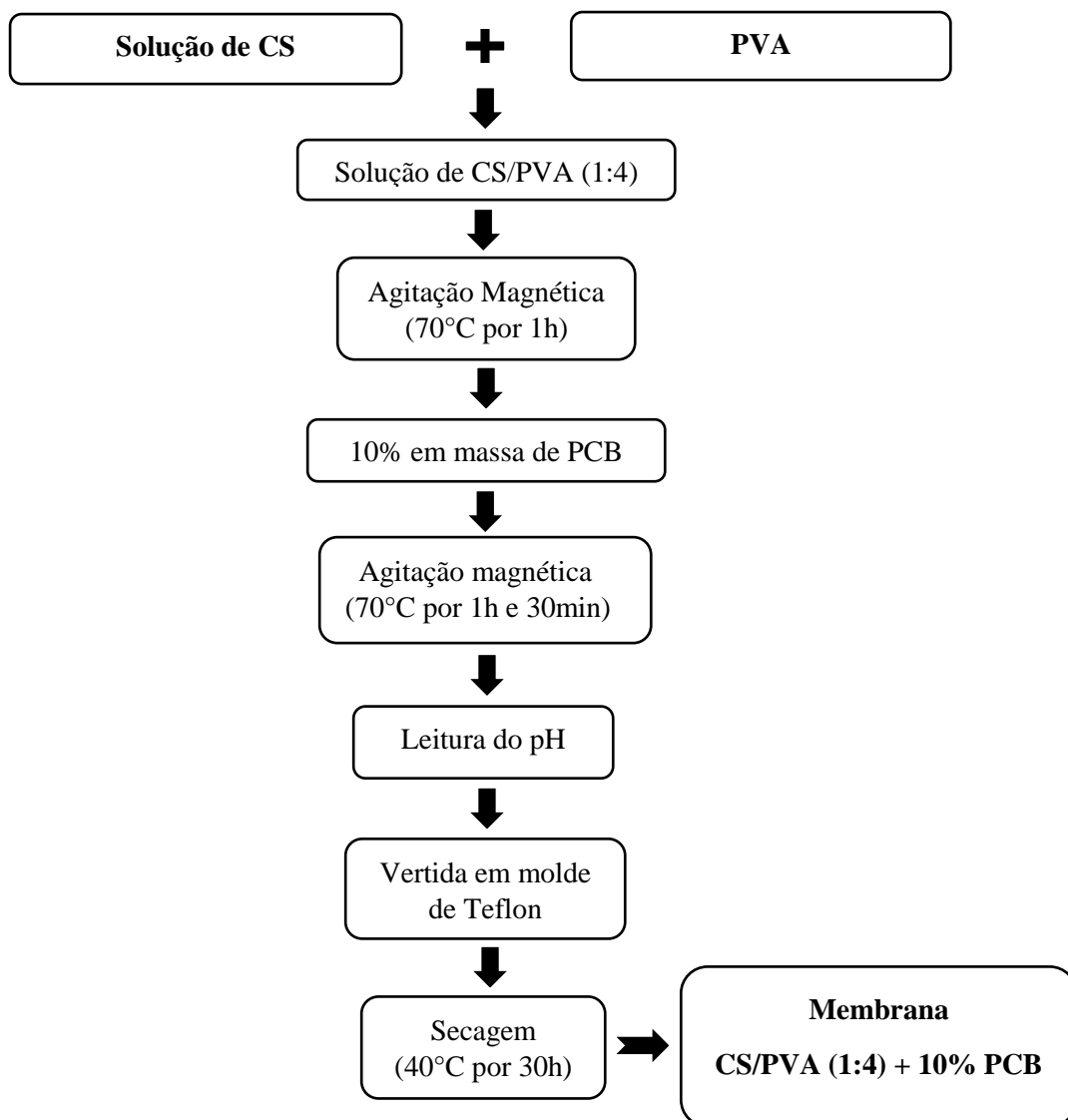
fluxograma de preparação das membranas CS e PVA com 10% em massa de PCB está apresentado na Figura 11.



**Figura 11.** Fluxograma para obtenção das membranas CS e PVA com adição de 10% em massa de PCB.

#### 4.6 Preparação da membrana CS/PVA (1:4) com pó da casca da banana

Após a preparação da solução CS, como descrita anteriormente, adicionou-se um teor em massa de PVA à solução, para obter a composição 1:4 m/v de CS/PVA, respectivamente, sendo, então, submetida à agitação magnética à 70°C por 1h. Posteriormente, foi incorporado 10% em massa do pó da casca da banana, em relação à massa total do polímero (CS+PVA), deixando-a sob agitação magnética à 70°C por 1h e 30min. Em seguida, aferiu-se o pH da solução ( $4,0 \pm 0,5$ ) e verteu-se num molde de Teflon, sendo então, seca em estufa com circulação e renovação de ar à 40°C por 30h para formação da membrana codificada como CS/PVA (1:4) + 10% PCB. O fluxograma de preparação da membrana CS/PVA (1:4) com 10% em massa de PCB está exibido na Figura 12.

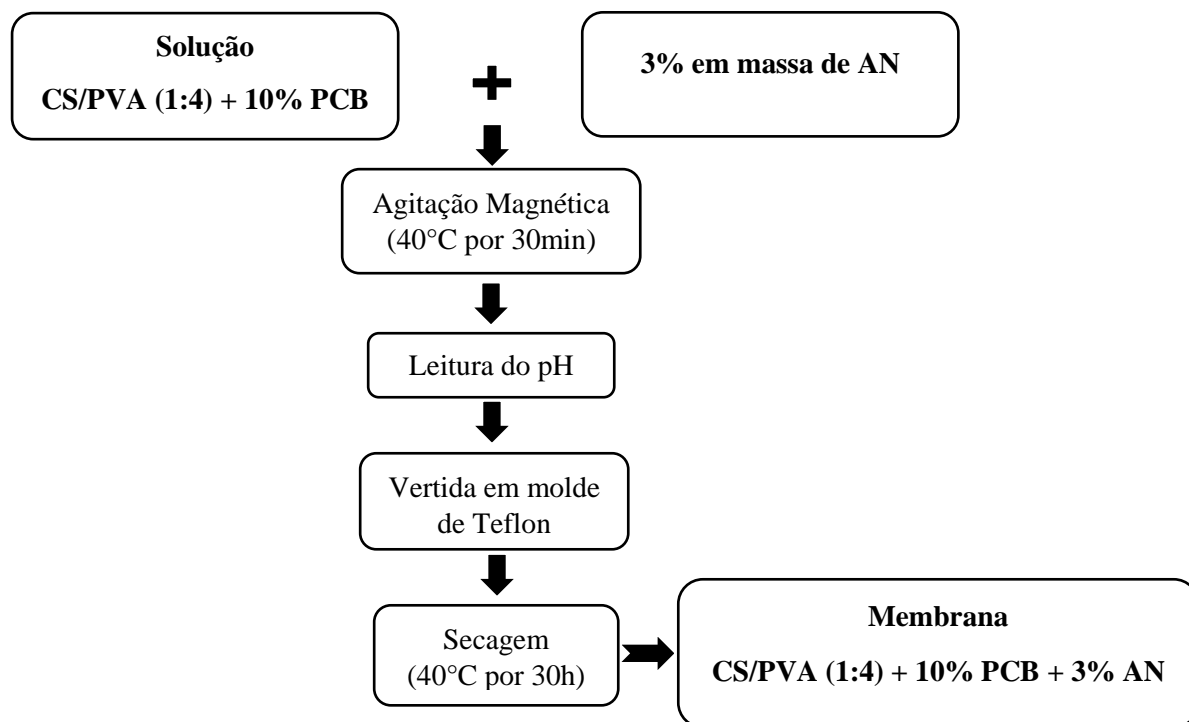


**Figura 12.** Fluxograma para obtenção da membrana CS/PVA (1:4) com adição de 10% em massa de PCB.

#### 4.7 Preparação da membrana CS/PVA (1:4) contendo pó da casca da banana e argila bentonita

Após a preparação da solução de CS/PVA (1:4) + 10% em massa do pó da casca da banana, como descrita acima, adicionou-se 3% em massa da argila bentonita na solução, sendo submetida à agitação magnética a uma temperatura de 40°C por 30 min. Depois, aferiu-se o pH da solução ( $4,0 \pm 0,5$ ) e verteu-se num molde de Teflon, para secagem em estufa com circulação e renovação de ar à 40°C por 30h para formação da membrana codificada como CS/PVA (1:4) + 10% PCB + 3% AN. O fluxograma de

preparação da membrana CS/PVA (1:4) + 10% PCB com 3% em massa de argila está ilustrado na Figura 13.



**Figura 13.** Fluxograma para obtenção da membrana CS/PVA (1:4) contendo 10% em massa do pó da casca da banana e 3% em massa de argila bentonita.

A Tabela 2 mostra as composições das membranas estudadas na pesquisa.

**Tabela 2.** Composição das membranas estudadas.

<b>Amostras</b>	<b>Composições (m/v)</b>
<b>CS/PVA</b>	1:0
	0:1
<b>CS/PVA + 10% PCB</b>	1:0
	1:4
	0:1
<b>CS/PVA + 10% PCB + 3% AN</b>	1:4

## **4.8 Caracterizações**

### **4.8.1 Análise Granulométrica**

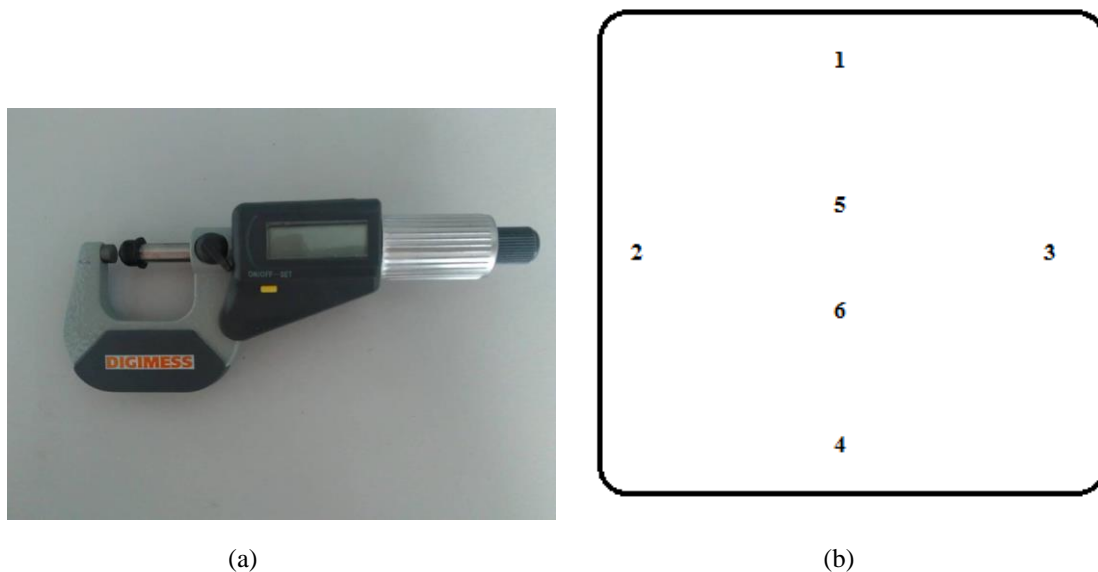
A granulometria do pó da casca da banana (PCB) e da argila bentonita (AN) foi determinada em um equipamento CILAS 1090LD, no qual utiliza o método de dispersão de partículas associado a um processo de medida óptica, podendo ser operado a úmido ou a seco. Para esta análise, o equipamento foi operado no modo a seco e a dispersão ocorreu num período de 15s, onde os pós foram dispersos sobre o jato de ar comprimido através da vibração mecânica com pressão de 2500 mb e frequência de 55 Hz.

### **4.8.2 Atividade de Água**

A medição da atividade de água do pó da casca da banana (PCB) foi feita através de um medidor de atividade de água Novasina LabMaster AW, com precisão de  $\pm 0,003$  a uma temperatura de 30°C. O pó da casca da banana foi seco a 120°C por 24h em estufa com circulação e renovação de ar antes da análise.

### **4.8.3 Avaliação Qualitativa**

O aspecto visual das membranas de CS e PVA; CS, PVA e CS/PVA (1:4) com 10% em massa de PCB, assim como CS/PVA (1:4) + 10% PCB com a adição de 3% em massa da argila foi realizado levando-se em consideração a coloração, solubilidade, miscibilidade, segregação de fase, presença de poros, fissuras, adesão e flexibilidade quando tocadas. Para tanto, a espessura das membranas foi avaliada com o auxílio de um micrômetro eletrônico da marca DIGIMESS, com precisão de 0,01mm (Figura 14a). O valor de espessura das membranas foi obtido através de uma média de 6 pontos para cada composição (Figura 14b).



**Figura 14.** (a) Micrômetro eletrônico; (b) Representação esquemática dos pontos usados na determinação do valor médio de espessura para as membranas.

#### 4.8.4 Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

As análises de espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) do pó da casca da banana, da argila bentonita assim como das membranas estudadas, foram realizadas no espectrofotômetro modelo Spectrum 400 da Perkin Elmer, utilizando o acessório de Reflectância Total Atenuada (ATR). Os espectros foram obtidos na região de  $4000$  a  $600\text{ cm}^{-1}$  com resolução  $4\text{ cm}^{-1}$ , empregando o total de 20 varreduras (*scans*) ( $1/\text{min}$ ).

#### 4.8.5 Difratometria de Raios-X (DRX)

O pó da casca da banana, a argila bentonita e as membranas estudadas na pesquisa foram analisados por difratometria de raios-X usando um equipamento Shimadzu XDR-6000, radiação  $\text{CuK}\alpha$  ( $\lambda=1,5418\text{ \AA}$ ), tensão de  $40\text{ kV}$  e uma corrente de  $30\text{ mA}$ . As medidas de DRX foram conduzidas à temperatura ambiente, com  $2\theta$  na faixa de  $5$  a  $50^\circ$ , fenda de  $1^\circ$  e velocidade de varredura de  $1^\circ/\text{min}$  para os pós PCB e NA, assim como para as membranas com PCB. Por outro lado, a membrana contendo argila foi analisada com  $2\theta$  variando de  $1$  a  $12^\circ$ , fenda de  $0,5^\circ$  e velocidade de varredura de  $1^\circ/\text{min}$ . O espaçamento basal da argila bentonita e da argila na membrana CS/PVA (1:4) + 10% PCB + 3% AN foi calculado segundo a Lei de Bragg, Eq. (1) (UTRACKI, 2002):

$$d_{001} = \frac{n\lambda}{2\sin\theta} \quad (1)$$

Onde:  $d_{001}$  é a reflexão basal do plano (001) do argilomineral montmorilonita na argila bentonita em (nm);

$n$  é 1;

$\lambda$  é o comprimento de onda da radiação  $\text{CuK}\alpha$  ( $\lambda=1,5418 \text{ \AA}$ );

$\theta$  é o ângulo do pico referente à reflexão basal (001) da montmorilonita em graus ( $^\circ$ ).

#### 4.8.6 Ensaio de Intumescimento

O grau de intumescimento das membranas nas diferentes proporções foi avaliado através da imersão das referidas amostras em água destilada ( $\text{pH} = 5,5$ ). As amostras nas dimensões (2 x 2) cm foram submetidas à secagem em estufa de circulação e renovação de ar a  $40^\circ\text{C}$  por 24h e em seguida pesadas. Posteriormente, foram imersas em 30mL de água destilada, por um período de 1, 24 e 48h. Após cada intervalo, as amostras foram previamente secas com papel absorvente e pesadas, para então, ser determinado o peso úmido de cada amostra. O cálculo de intumescimento foi realizado em triplicata de acordo com a Eq. (2) (LEE et al., 2018):

$$G_i = \frac{(M_f - M_i)}{M_i} \times 100 \quad (2)$$

Onde:  $G_i$  é o grau de intumescimento (%),  $M_i$  é a massa inicial determinada antes do intumescimento (g) e  $M_f$  é a massa final determinada após o intumescimento (g).

#### 4.8.7 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A superfície das membranas foi analisada num microscópio eletrônico de varredura da marca Zeiss, modelo LEO 1430, usando um detector de elétrons secundários sob vácuo, com corrente de 25 mA e tensão de aceleração de 15 kV. A superfície das



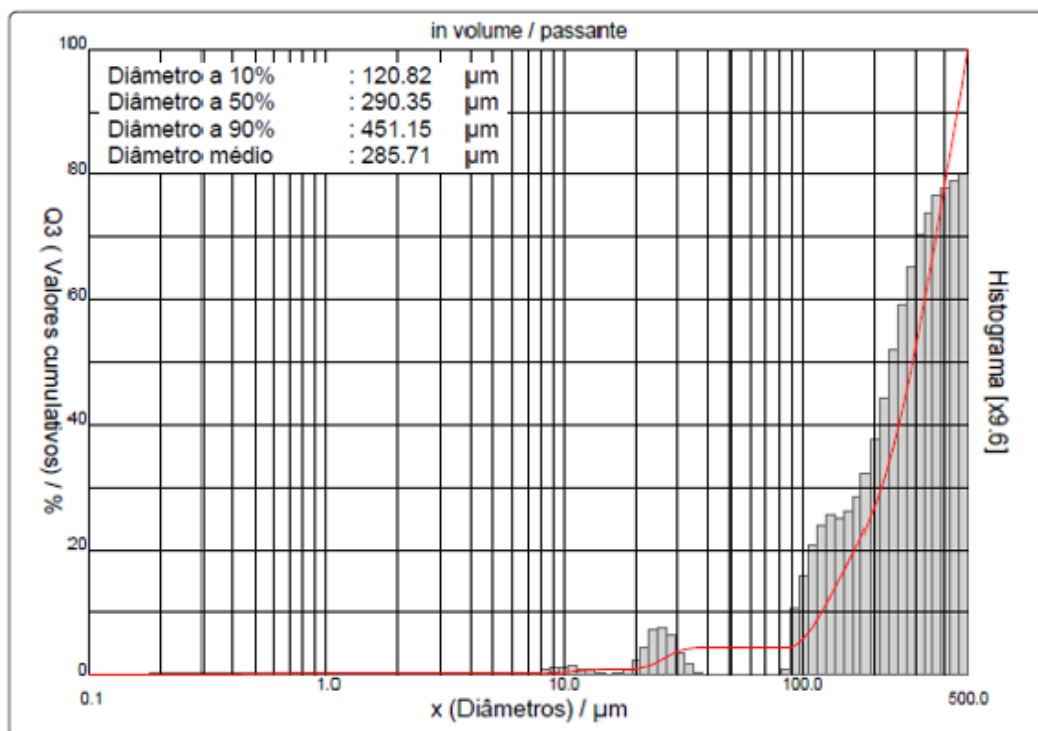
membranas foi recoberta com uma fina camada de ouro de 22,5 nm de espessura, utilizando um metalizador EMITECH K550X.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

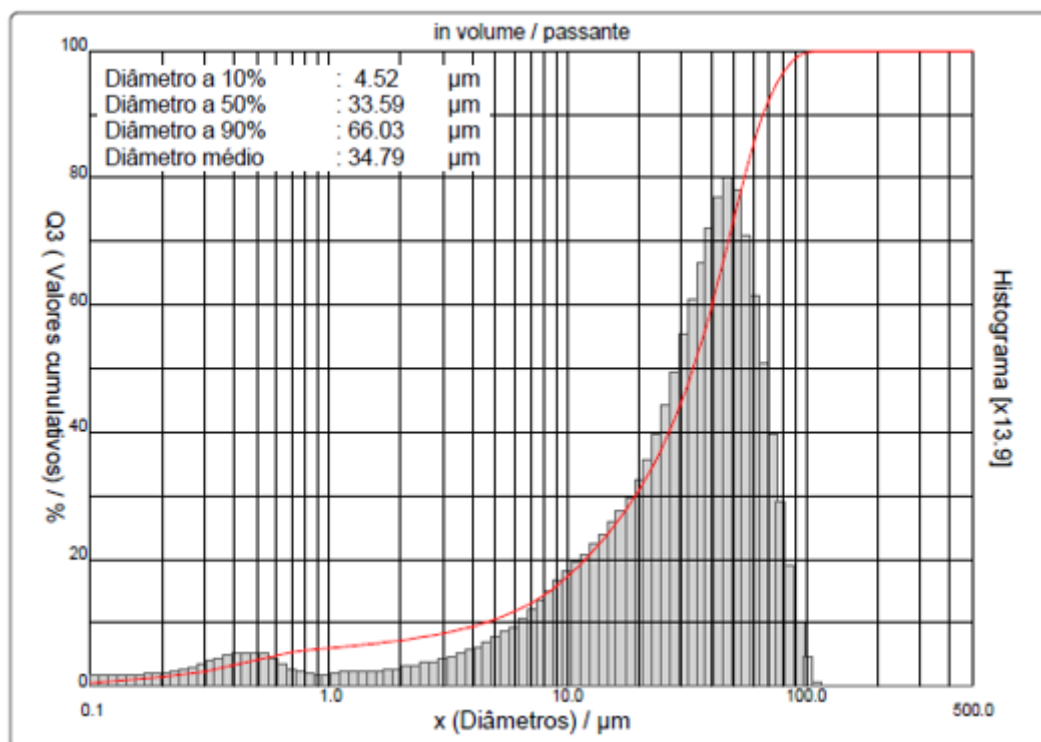
### **5.1 Análise Granulométrica**

A análise de granulometria é uma técnica bastante utilizada para caracterizar as propriedades de materiais particulados como pós, suspensões, emulsões e gotas, uma vez que, pode ser associado quanto a sua aglomeração, grau de dispersão, abrasividade, fluidez, permeabilidade, entre outras características. Desse modo, é possível analisar a distribuição do tamanho de partículas, verificando a quantidade de partículas sólidas em cada faixa de tamanho, na qual pode ser dada geralmente em fração mássica ou volumétrica, em função dos diferentes diâmetros de partícula encontrados em uma determinada amostra. Sendo assim, o desempenho de diversos produtos pode ser influenciado pelo tamanho de partícula de forma crítica (ETZLER e DEANNE, 1997; SATO, 2005).

A Figura 15 mostra as curvas de distribuição de partículas do pó da casca da banana (PCB) e da argila (AN). Pode-se observar que o pó da casca da banana apresenta um tamanho médio de partícula igual a 285,71  $\mu\text{m}$  e uma curva de distribuição de partícula do tipo polimodal, apresentando quatro picos diferentes, de modo que cada pico representa um tamanho predominante de partícula. Esse alto valor no tamanho médio pode estar associado ao método utilizado para a preparação do pó da casca da banana, cuja classificação se deu numa peneira doméstica sem granulometria definida. Enquanto que argila apresenta um tamanho médio de partícula bem menor, igual a 34,79  $\mu\text{m}$ , como era esperado, uma vez que foi possível classificá-la em peneira de número 200, e o gráfico exibe um comportamento bimodal, com dois picos distintos.



(A)



(B)

**Figura 15.** Distribuição do tamanho médio de partículas para o pó da casca da banana (PCB) (A) e para a argila (AN) (B).

## 5.2 Atividade de Água

Segundo Labuza (1982), a atividade de água é uma propriedade que quantifica o grau de ligação da água contida num determinado produto e, conseqüentemente, a sua disponibilidade em participar de transformações químicas, bioquímicas e microbiológicas. Ainda de acordo com Fellows (2006), a atividade de água é definida como sendo a razão entre a pressão de vapor da água presente em um alimento e a pressão de vapor da água pura, em uma mesma temperatura.

Todos os micro-organismos possuem uma atividade de água mínima para se desenvolver. De um modo geral, as bactérias se desenvolvem em meios com atividade de água elevada, de modo que, muitas delas não conseguem se desenvolver em valores menores que 0,91, enquanto que os bolores não se multiplicam em valores inferiores a 0,80. Já os fungos xerofílicos e as leveduras osmofílicas, crescem em atividade de água maior que 0,60. Desse modo, em geral, considera-se 0,60 como sendo o limite mínimo para o desenvolvimento de micro-organismos (BROCHIER, 2013).

O pó da casca da banana (PCB) utilizado na pesquisa apresentou um valor de atividade de água igual a 0,340. Dessa forma, não há possibilidade de haver o desenvolvimento de micro-organismos, uma vez que o PCB apresentou valor inferior a 0,60, sendo considerado microbiologicamente estável.

## 5.3 Avaliação Qualitativa

### 5.3.1 Aspecto Visual

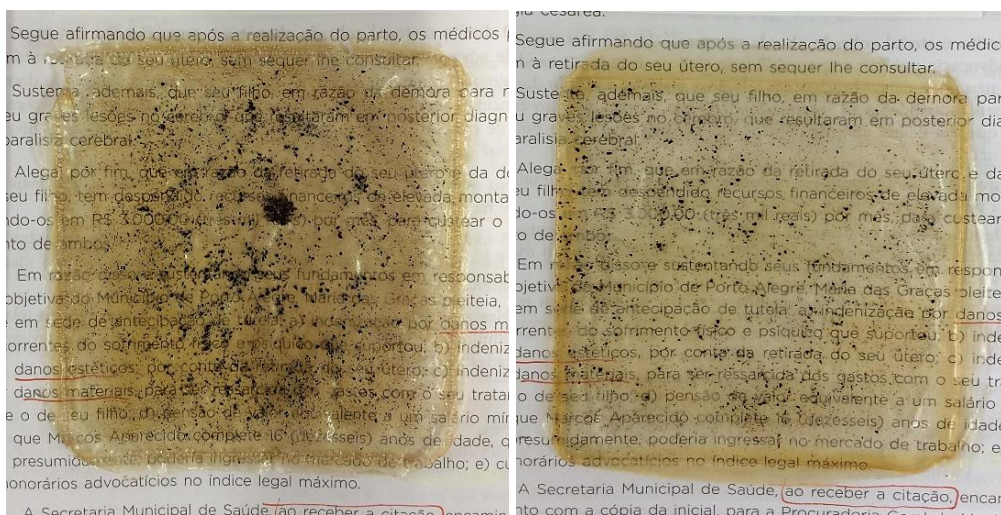
A Figura 16 mostra as imagens das membranas de CS e PVA puras, bem como das diferentes composições contendo 10% de pó da casca da banana e contendo argila bentonita. Diante das imagens, é possível verificar que a membrana de quitosana apresentou uma pequena e perceptível diferença em sua coloração em relação ao PVA puro, exibindo uma coloração creme, devido justamente as suas propriedades físico-químicas, as quais estão reportadas no Certificado de Análises do fornecedor Polymar (2013) (Anexo 1). Por se tratar de um pó de cor creme, o mesmo quando em solução de ácido acético, demonstra uma cor variando de amarelo a creme. Essa coloração creme foi observada ao longo da preparação da solução de quitosana bem como após a formação da

membrana, conforme ilustrado na Figura 16, apresentando-se translúcida à luz visível. Enquanto que a membrana de PVA pura exibiu uma excelente propriedade óptica de transparência à luz visível, sendo assim, incolor. Tal propriedade é inerente ao PVA conforme reportado na literatura (COSTA et al., 2008). Com relação às membranas de CS, PVA e CS/PVA (1:4) contendo 10% em massa do pó da casca da banana, é possível observar que todas as membranas exibiram intensa coloração amarelada.

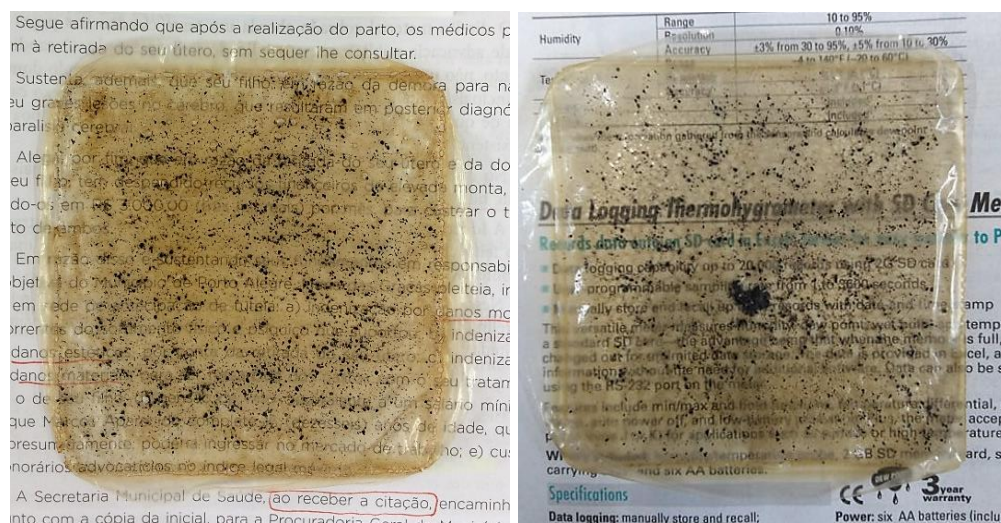
Esse comportamento se deve provavelmente a reação de escurecimento enzimático devido a oxidação dos compostos fenólicos presentes na casca da banana por enzimas como polifenoloxidase (ORDENÉZ, 2005). Segundo Franco (2014), os taninos são facilmente oxidáveis tanto por enzimas vegetais, polifenoloxidase, quanto por metais, como cloreto férrico, provocando escurecimento de seus produtos. Tal aspecto foi verificado durante a preparação e após a formação das membranas através de uma simples inspeção visual. Percebe-se ainda, que ao adicionar a argila bentonita na composição CS/PVA (1:4) + 10% PCB + 3% AN, tem-se uma apreciável diminuição no nível de amarelamento. Silva et al. (2004) relataram que os silicatos contêm em sua estrutura a presença de grupos hidroxilas, os quais são compatíveis com os grupos funcionais polares presentes nos polímeros. Isso favorece a fortes interações entre o polímero e a argila bentonita, de tal forma a proporcionar certa dispersão e esfoliação uniforme dos silicatos por toda a extensão da matriz polimérica (OKAMOTO et al., 2003). Esse comportamento será comprovado mais adiante por Difractometria de Raios-X.

Observou-se ainda, que as membranas de um modo geral, apresentaram certa flexibilidade e maleabilidade. E ao decorrer da preparação das membranas, verificou-se através de uma simples inspeção visual que as mesmas exibiram boa solubilidade e homogeneidade, exceto quando o pó da casca da banana foi introduzido, conferindo certa heterogeneidade e rugosidade na superfície das membranas, devido à presença das partículas da casca da banana dispersas na matriz polimérica, corroborando com os resultados obtidos por Franco (2014).

**PVA pura**



### PVA + 10% PCB



**CS/PVA (1:4) + 10% PCB + 3% AN**

**Figura 16.** Aspecto visual das membranas estudadas na pesquisa.

### 5.3.2 Espessura das Membranas

Os valores médios de espessuras das membranas estão apresentados na Tabela 3. De um modo geral, observou-se que as membranas apresentaram valores de espessuras variando entre 20 e 61  $\mu\text{m}$ . Essa variação está relacionada tanto com a concentração quanto com a quantidade de componentes envolvidos na formação da membrana. Guimarães (2018) estudou membranas de CS/PVA, utilizando a mesma quitosana e o mesmo solvente, o ácido acético. Os resultados evidenciaram que as membranas apresentaram valores de espessuras variando entre 20 e 60  $\mu\text{m}$ , sendo, praticamente semelhantes aos encontrados nesse estudo. Em virtude do elevado teor de resíduos insolúveis na quitosana oriunda da Polymar/CE, fez-se necessária filtração à vácuo após a preparação da solução polimérica, para retirada dos contaminantes. Deste modo, a espessura da membrana de quitosana foi reduzida, obtendo-se uma média em torno de  $24,0 \pm 1,67 \mu\text{m}$  em relação à membrana de PVA que exibiu uma média de  $42,16 \pm 12,63 \mu\text{m}$ , com valores de espessuras variando entre 24 e 60  $\mu\text{m}$  ao longo de um mesmo filme. Entretanto, a membrana CS + 10% PCB apresentou valores de espessuras variando entre 20 e 59  $\mu\text{m}$ , com uma média em torno de  $36,00 \pm 16,74 \mu\text{m}$ , enquanto que a membrana PVA + 10% PCB exibiu valores de espessuras variando entre 20 e 46  $\mu\text{m}$ , com uma média em torno de  $32,83 \pm 11,42 \mu\text{m}$ . Desse modo, pode-se observar que ao incorporar 10% em massa do pó da casca da banana, a membrana CS + 10% PCB apresentou um aumento no valor médio de espessura em relação a membrana CS. Tal aspecto deve-se provavelmente a heterogeneidade/rugosidade apresentada na superfície da membrana devido à presença de partículas do pó da casca da banana. Por outro lado, a membrana PVA + 10% PCB exibiu uma diminuição no valor médio de espessura em comparação a membrana PVA.

Já para a membrana CS/PVA (1:4) + 10% PCB verifica-se um discreto aumento em relação a membrana PVA, obtendo um valor médio de espessura de  $43,50 \pm 12,35 \mu\text{m}$ . Tal fato pode estar atribuído a presença das partículas do pó da casca da banana bem como ao elevado teor de PVA na composição. Entretanto, ao analisar a membrana CS/PVA (1:4) + 10% PCB + 3% AN observa-se uma diminuição no valor médio de espessura ( $36,00 \pm 12,01 \mu\text{m}$ ), no qual pode estar relacionado provavelmente a interação da argila com o pó da casca da banana assim como aos demais componentes.



Existem diversos substitutos cutâneos sendo utilizados na engenharia de tecidos, um exemplo deles é o substituto dérmico Integra®, com espessura de 100  $\mu\text{m}$ , no qual apresenta uma estrutura bilaminar composta por colágeno bovino e condroitina-6-sulfato recoberto por fina lâmina de silastic (análogo epidérmico), que controla a perda de fluidos e reduz a invasão bacteriana (BURKE et al., 1981). Outro exemplo é o substituto dérmico monolaminar, passível de enxertia cutânea em um único tempo cirúrgico, cuja espessura varia entre 1 e 2 mm (1000 e 2000  $\mu\text{m}$ ), sendo composto por fibras de colágeno revestidas com elastina, no qual serve de arcabouço para a formação de neoderme autóloga (NERY et al., 2011).

Apesar desses curativos citados acima apresentarem valores de espessura superiores aos valores encontrados para as membranas analisadas na pesquisa, existe um curativo reportado na literatura que apresenta um valor médio de espessura semelhante, que é o Biofill, cujo valor médio é de 0,036 mm (36  $\mu\text{m}$ ). Esse curativo consiste em uma película de celulose pura, não oriunda de árvores ou plantas, na qual é obtida por biossíntese através de bactérias do gênero *Acetobacter* (DE PAOLA e SOUZA, 1987). Sendo assim, ao analisar as espessuras das membranas estudadas na pesquisa, percebe-se que as mesmas são compatíveis com as espessuras de curativos já existentes na literatura, de modo que apresentaram um ideal parâmetro para elaboração de curativos cutâneos.

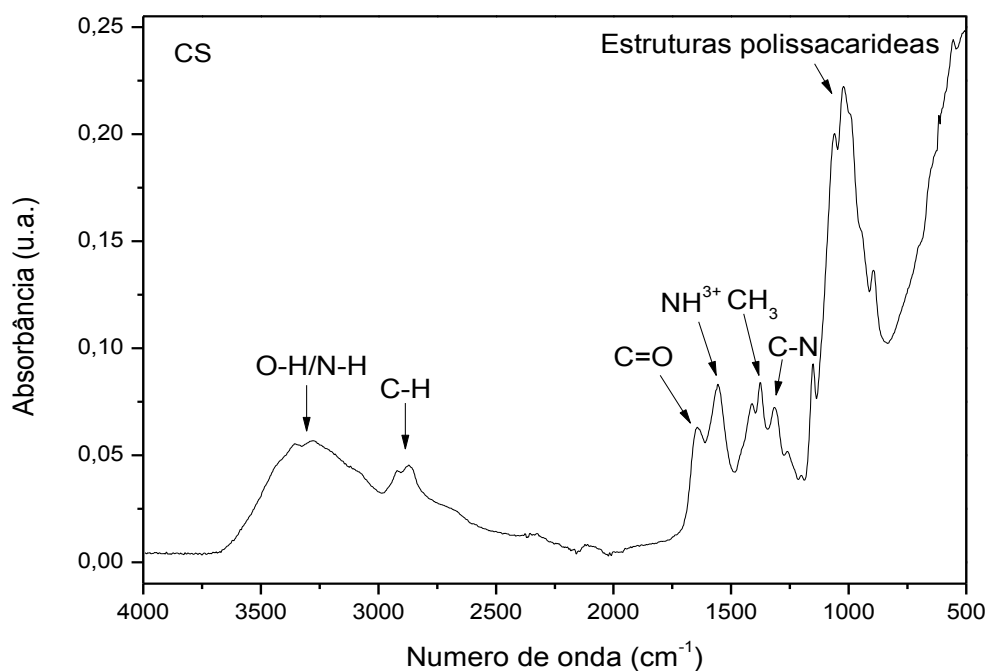
**Tabela 3.** Valores médios de espessura para as diferentes composições de membranas.

Espessuras ( $\mu\text{m}$ )							
Amostras	1	2	3	4	5	6	Média
CS	24,0	22,0	25,0	26,0	25,0	24,0	$24,00 \pm 1,67$
PVA	24,0	37,0	51,0	60,0	45,0	36,0	$42,16 \pm 12,63$
CS+10% PCB	59,0	56,0	21,0	20,0	40,0	20,0	$36,00 \pm 16,74$
PVA+10% PCB	40,0	20,0	20,0	42,0	29,0	46,0	$32,83 \pm 11,42$
CS/PVA(1:4)+10% PCB	33,0	23,0	61,0	51,0	45,0	48,0	$43,50 \pm 12,35$
CS/PVA(1:4)+10% PCB+3% AN	42,0	42,0	21,0	56,0	31,0	24,0	$36,00 \pm 12,01$

#### 5.4 Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

A Figura 17 mostra o espectro de FTIR da membrana de quitosana, no qual foi possível observar bandas de 3633 a 3041  $\text{cm}^{-1}$ , associadas às vibrações de estiramento dos grupos N-H e O-H. A banda 2929  $\text{cm}^{-1}$  atribui-se às vibrações de estiramento assimétricas do grupo C-H, enquanto que a banda 2886  $\text{cm}^{-1}$  é referente às vibrações de estiramento simétricas (AMARAL et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2012). Devido ao grau de desacetilação, a absorção em 1656  $\text{cm}^{-1}$  está associada às vibrações do grupo carbonila ( $\text{-C=O}$ ), no qual pertence a amina primária ( $\text{NHCOCH}_3$ ). Tal fato deve-se possivelmente a incompleta desacetilação da quitosana, conforme observado por Josué et al. (2000). Em 1555  $\text{cm}^{-1}$  tem-se o aparecimento das vibrações do grupo amina protonada  $\delta(\text{NH}^{3+})$ , visto que, como utilizou-se meio ácido para preparação das membranas, é evidente o efeito da protonação da amina (MARCHESSAULT et al., 2006; BRANCA et al., 2016).

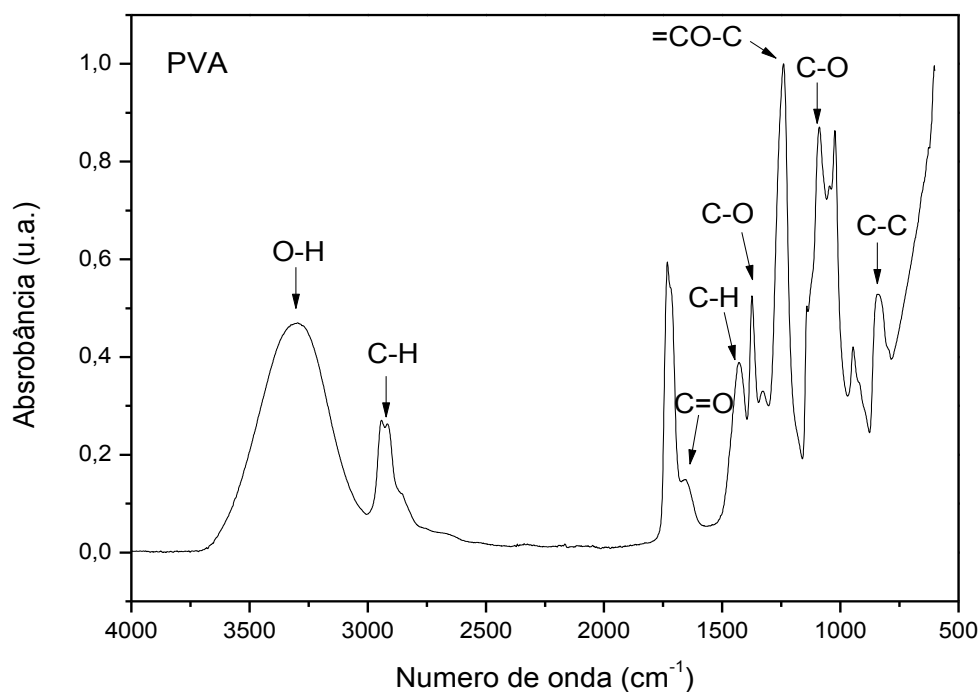
A absorção em 1428  $\text{cm}^{-1}$  refere-se a banda característica da deformação angular do C-H. As bandas 1415 e 1373  $\text{cm}^{-1}$  correspondem às deformações simétricas do  $\text{CH}_3$  (JOSUÉ et al., 2000; COSTA et al., 2008). As absorções 1324, 1260 e 1371  $\text{cm}^{-1}$  estão associadas às fortes vibrações da ligação N-H primária, secundária e terciária, respectivamente. A banda em 1310  $\text{cm}^{-1}$  refere-se ao grupo (C-N). Enquanto que as bandas de absorção na faixa de 1145 a 890  $\text{cm}^{-1}$  correspondem a estrutura sacarídea da quitosana (YANG et al., 2004; GUIMARÃES, 2018).



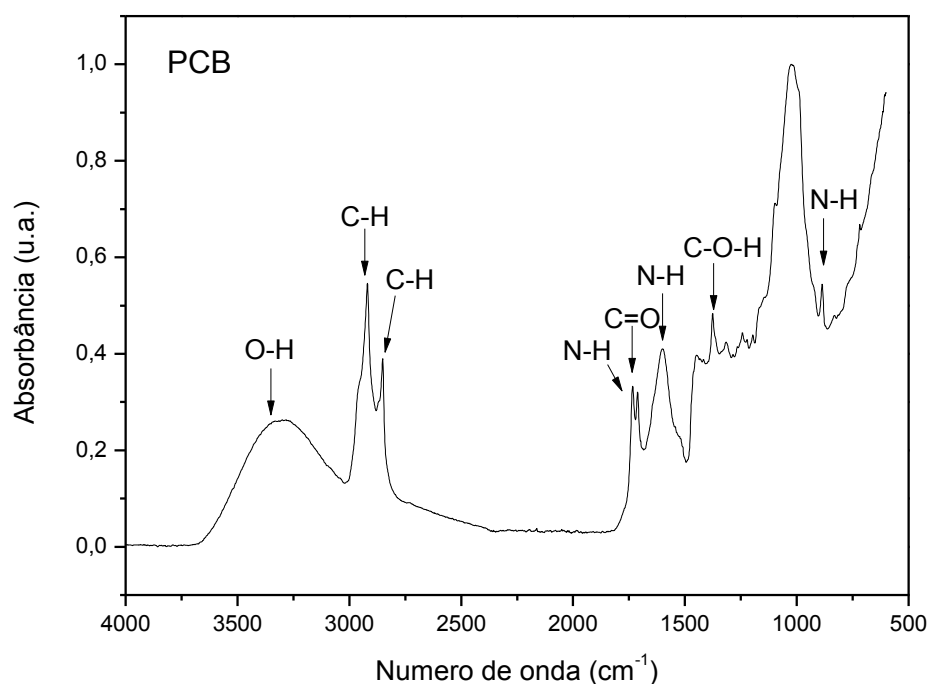


**Figura 17.** Espectro de FTIR da membrana CS.

Para o espectro da membrana PVA (Figura 18), verifica-se que as bandas na faixa de 3655 a 3041  $\text{cm}^{-1}$  são atribuídas ao estiramento das ligações O-H, devido às fortes ligações inter e intramoleculares de hidrogênio presentes no PVA (YANG et al, 2004). As bandas na faixa de 2949 a 2850  $\text{cm}^{-1}$  referem-se aos estiramentos assimétricos e simétricos do grupo alquila C-H. As absorções em 1646 e 1350  $\text{cm}^{-1}$  são atribuídas aos estiramentos C=O e C-O, dos grupamentos acetatos remanescentes do PVA, respectivamente. Tal fato ocorre devido ao grau de hidrólise do PVA nesse trabalho ser de 80%. Outros 20% referem-se aos grupos acetato não hidrolisados. Comportamento semelhante foi observado por Rasia (2014). Em 1420  $\text{cm}^{-1}$  tem-se a banda característica da deformação angular do grupo C-H. A banda em 1230  $\text{cm}^{-1}$  corresponde ao estiramento assimétrico do grupo (=CO-C). A absorção em 1091  $\text{cm}^{-1}$  é atribuída ao estiramento do grupo C-O, enquanto que a banda em 856  $\text{cm}^{-1}$  corresponde à vibração de estiramento C-C (ANDRADE et al., 2006; SVANG-ARIYASKUL et al., 2006).

**Figura 18.** Espectro de FTIR da membrana PVA.

Ao analisar o espectro do pó da casca da banana (PCB) (Figura 19), pode-se verificar que a banda em  $3433\text{ cm}^{-1}$ , corresponde ao estiramento vibracional axial dos grupos O-H. As bandas de absorção em  $2922$  e  $2840\text{ cm}^{-1}$  são atribuídas aos estiramentos da ligação C-H (FRANCO et al., 2016). A faixa de absorção de  $3720$  a  $3200\text{ cm}^{-1}$  evidencia um estiramento de N-H, o que confirma a presença do grupo funcional amina e a sua deformação angular é observada em  $1750$  a  $1580\text{ cm}^{-1}$ , conforme observado por Memon et al. (2008). A absorção em  $1728\text{ cm}^{-1}$  pode ser atribuída a vibrações de deformação axial do grupo C=O dos ácidos carboxílicos presentes na casca da banana (ANNADURAI et al., 2004). A banda em  $1619\text{ cm}^{-1}$  refere-se ao grupo C=C. As atribuições de  $1601$  a  $990\text{ cm}^{-1}$  são características do grupo éster, polissacarídeo ou de proteína, possivelmente presentes no pó da casca da banana. As bandas entre  $1371$  e  $1317\text{ cm}^{-1}$  podem ser atribuídas às deformações angulares C-O-H dos fenóis, pertencentes ao grupo tanino presente na casca da banana. Já a absorção em  $881\text{ cm}^{-1}$  corresponde à deformação do grupo amina (N-H) (MEMON et al., 2008; CRUZ, 2009; FRANCO et al., 2016).

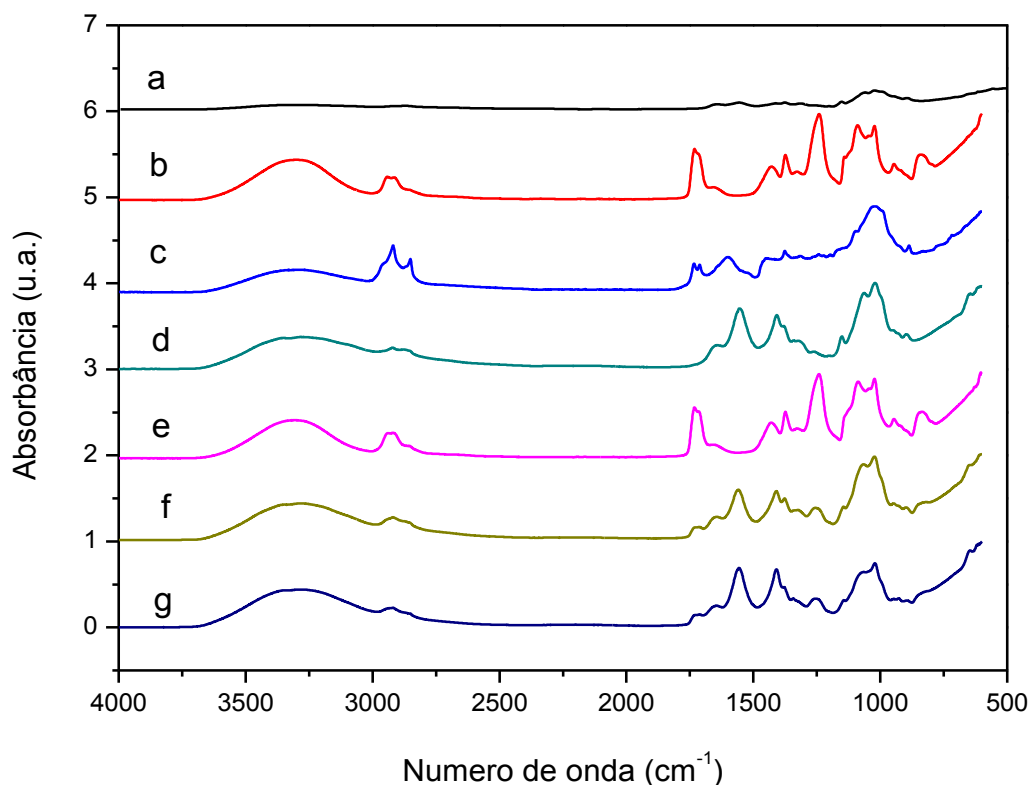


**Figura 19.** Espectro de FTIR do pó da casca da banana (PCB).

A Figura 20 mostra os espectros de FTIR das membranas CS e PVA bem como das membranas CS, PVA e CS/PVA (1:4) com a adição do pó da casca da banana e

CS/PVA (1:4) + 10% PCB com a introdução da argila bentonita. Ao se comparar os espectros das membranas CS, PVA e CS/PVA (1:4) contendo 10% em massa de pó da casca da banana, como mostra a Figura 20, pode-se observar que o espectro CS + 10% PCB apresenta mudanças significativas quanto à forma e posição das bandas de absorção, quando comparado ao espectro da membrana de quitosana (Figura 17). As bandas de absorção na região de 3632 a 3030  $\text{cm}^{-1}$  pertencem às vibrações de estiramento do grupo O-H. Em 2922  $\text{cm}^{-1}$  observa-se uma banda de absorção atribuída às vibrações assimétricas do estiramento C-H. Além disso, observa-se uma banda em 1554  $\text{cm}^{-1}$  correspondente às vibrações do grupo amina. Percebe-se ainda uma banda em 1408  $\text{cm}^{-1}$  referente a deformação angular do grupo C-H e em 1071 e 1017  $\text{cm}^{-1}$ , absorções correspondentes a estrutura sacarídea da quitosana. Desse modo, torna-se evidente que a incorporação do pó da casca da banana interfere de forma considerável nas bandas de absorção da quitosana, uma vez que promove deslocamento para menores números de onda, sugerindo possível interação entre os componentes envolvidos na membrana.

Analizando o espectro de FTIR da membrana PVA + 10% PCB (Figura 20), observa-se um perfil semelhante quanto à forma e posição das bandas de absorção em relação ao espectro da membrana de PVA, já discutido anteriormente. Em se tratando da membrana de CS/PVA (1:4) + 10% PCB (Figura 20) verifica-se a presença de bandas pertencentes a quitosana, ao pó da casca da banana, mas principalmente as pertencentes ao PVA, uma vez que a composição apresenta uma maior concentração de PVA. Para tanto, as bandas de absorção na faixa de 3641 a 3040  $\text{cm}^{-1}$  são atribuídas ao estiramento do grupo N-H. A banda em 2921  $\text{cm}^{-1}$  referente ao estiramento do grupo C-H, apresentou uma considerável mudança na forma e posição com a incorporação do pó da casca da banana. Observou-se ainda, uma banda em 1646  $\text{cm}^{-1}$ , característica do estiramento do grupo C=O. Em 1555  $\text{cm}^{-1}$  tem-se a presença de vibrações pertencentes ao grupo amina protonada. As bandas em 1371  $\text{cm}^{-1}$  e 1016  $\text{cm}^{-1}$  correspondem às deformações simétricas do  $\text{CH}_3$  e a estrutura sacarídea da quitosana. E a banda de absorção em 834  $\text{cm}^{-1}$  corresponde a vibração do estiramento C-C.

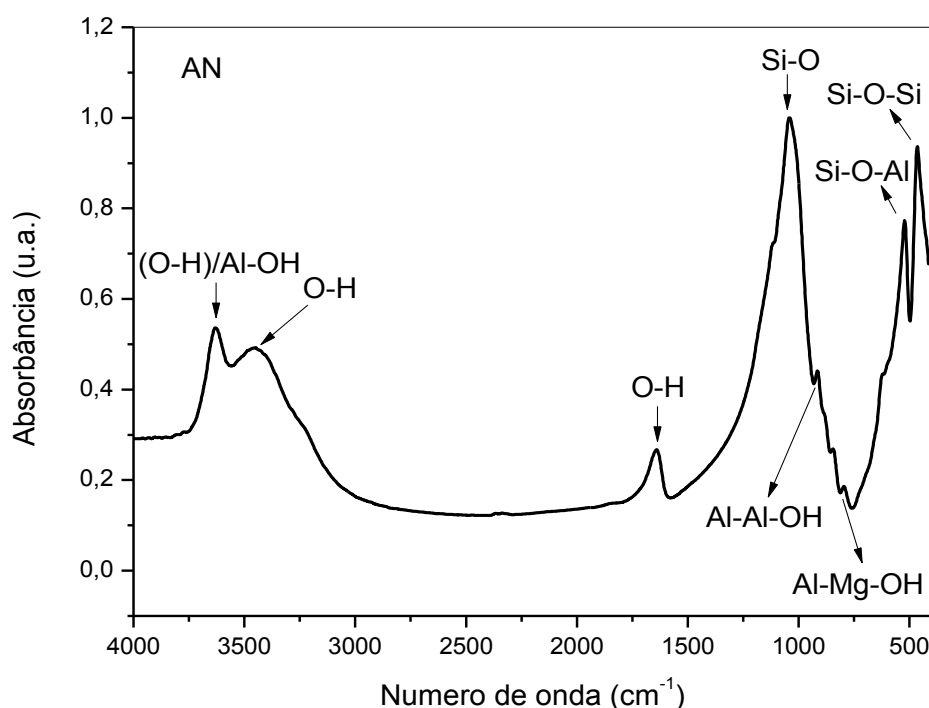


**Figura 20.** Espectros de FTIR das membranas: (a) CS; (b) PVA; (c) Pó da casca da banana (PCB); (d) CS + 10% PCB; (e) PVA + 10% PCB; (f) CS/PVA (1:4) + 10% PCB; (g) CS/PVA (1:4) + 10% PCB + 3% AN.

Ao verificar o espectro de infravermelho da argila (AN), como mostra a Figura 21, percebe-se a presença de uma banda em  $3637\text{ cm}^{-1}$ , no qual corresponde ao grupo estrutural hidroxílico característico da argila, Al-OH. As bandas de absorção em  $3454$  e  $1637\text{ cm}^{-1}$  referem-se às vibrações de estiramento e de deformação angular do grupo OH, e estão relacionadas à água adsorvida e à água de hidratação presente na própria argila, respectivamente (LEITE et al., 2008; MORITA et al., 2015; MACHADO et al., 2018). Em  $1041\text{ cm}^{-1}$  tem-se a vibração da ligação Si-O na camada tetraédrica. A banda localizada em  $906\text{ cm}^{-1}$  é característica de ligações Al-Al-OH, enquanto que a banda  $839\text{ cm}^{-1}$  pertence às deformações do grupo Al-Mg-OH. A banda  $521\text{ cm}^{-1}$  refere-se à vibração do grupo Si-O-Al. Já as duas bandas,  $791$  e  $464\text{ cm}^{-1}$ , são características das vibrações de Si-O-Si (LUCKHAM et al., 1999; MADEJOVÁ, 2003; MACHADO et al., 2018).

Ao incorporar a argila, percebe-se que o espectro da membrana CS/PVA (1:4) + 10% PCB + 3% AN apresenta um perfil muito semelhante ao espectro de CS/PVA (1:4) + 10% PCB, como mostra a Figura 20. Para a membrana CS/PVA (1:4) + 10% PCB +

3% AN nota-se que as bandas de absorção em  $2916$  e  $2846\text{ cm}^{-1}$ , características do grupo C-H presentes no pó da casca da banana assim como na quitosana e PVA, praticamente desapareceram com a incorporação da argila. A banda em  $1554\text{ cm}^{-1}$  pertencente às vibrações do grupo amina protonada apresentou mudança na forma da banda, assim como para a banda  $1408\text{ cm}^{-1}$  referente às deformações simétricas do grupo  $\text{CH}_3$ . Entretanto, houve uma considerável mudança na forma da banda de absorção em  $1016\text{ cm}^{-1}$ , referente às vibrações de deformação axial do grupo C-O dos ácidos carboxílicos presentes na casca da banana em relação a membrana CS/PVA (1:4) + 10% PCB. Segundo Paluszkiwicz et al. (2001), a quitosana pode ser intercalada nas camadas da argila, devido a interação entre os grupos amina protonados ( $\text{NH}^{3+}$ ) presentes na quitosana e os grupos hidroxilas (O-H) presentes nas faces dos silicatos. Esse comportamento será evidenciado a partir da Difractometria de Raios-X. Grupamentos característicos da argila não puderam ser identificados com clareza no espectro de FTIR da membrana devido talvez a sobreposição dessas bandas ou ao baixo teor em massa de argila usado na preparação da membrana.

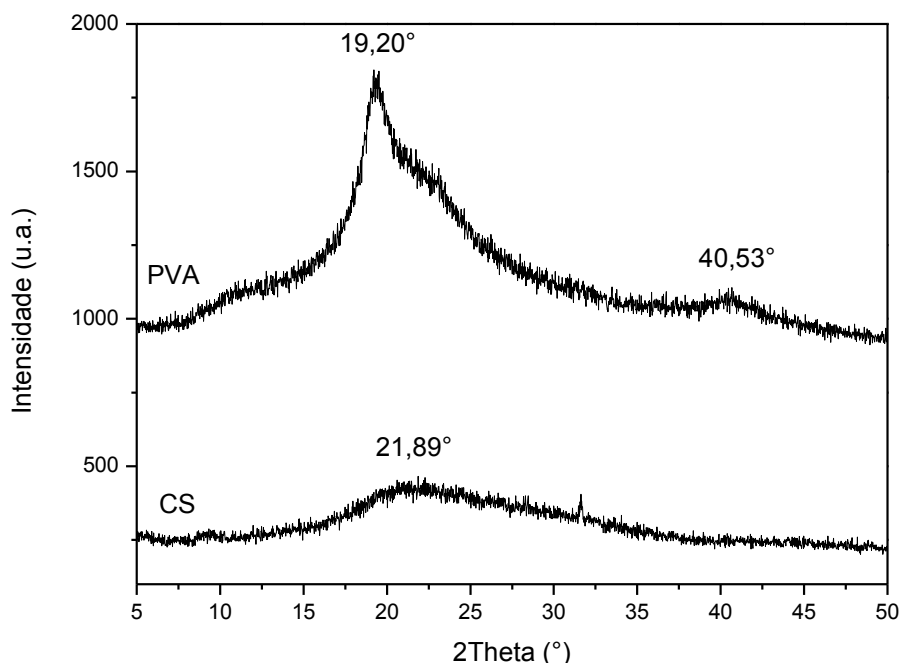


**Figura 21.** Espectro de FTIR da argila bentonita.

## 5.5 Difratometria de Raios-X (DRX)

A Figura 22 mostra o difratograma de raios-X da membrana CS. Observa-se a presença de um pico bastante alargado na faixa de  $2\theta$  de  $10,76$  a  $37,36^\circ$  com máximo em  $2\theta=21,89^\circ$ , no qual refere-se a presença de uma fase cristalina, pertencente ao plano cristalino (110), e uma ampla faixa abaixo desse pico, onde predomina a forma amorfa do material. A quitosana possui um perfil semicristalino devido às fortes interações intra e intermoleculares, essas fortes interações fornecem certa organização à estrutura cristalina da quitosana (COSTA et al., 2008; BASKAR et al., 2009; CHAVES et al., 2009).

Para o difratograma de raios-X da membrana PVA, como mostra a Figura 22, verifica-se a presença de dois picos característicos, um de maior intensidade em  $2\theta=19,20^\circ$  e um de menor intensidade em  $2\theta=40,53^\circ$ , ambos pertencentes a fase cristalina do polímero. Apresenta também uma ampla faixa abaixo dos picos, variando de  $10^\circ$  a  $45^\circ$ , onde predomina a fase amorfa do material. De modo que, a estrutura cristalina do PVA é composta de duplas camadas de moléculas ligadas por ligações de hidrogênio, enquanto fracas forças de Van der Waals atuam entre as camadas. Uma parte das estruturas da cadeia de PVA conduz a pequenas regiões ordenadas (cristalitos) espalhadas de forma desordenada numa matriz polimérica amorfa (HASSAN et al., 2000; ARANHA et al., 2001; COSTA et al., 2008).



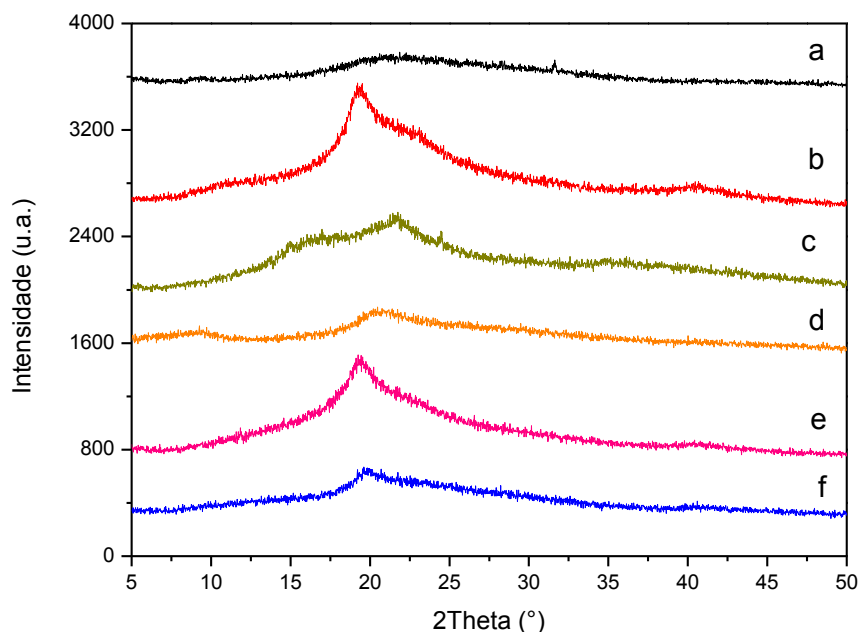
**Figura 22.** Difratoograma de raios-X das membranas CS e PVA.

O difratograma de raios-X do pó da casca da banana (PCB), assim como das membranas CS, PVA e CS/PVA (1:4) contendo 10% em massa de PCB estão apresentados na Figura 23. Para o difratograma de raios-X de PCB, é possível observar a presença de dois picos, o primeiro pico ocorre em aproximadamente  $2\theta=16,98^\circ$ , sendo pouco definido, de baixa intensidade, se assemelhando a um ombro. Tal perfil é característico de materiais amorfos, onde o estado desarranjado das moléculas produz mudanças na forma e posição do pico, uma vez que a casca da banana é constituída de uma ampla variedade de substâncias como amido e açúcares totais (66%), lipídeos (10%), proteínas (8,80%), entre outros (NDABIGENGESERE et al., 1995). Explicando assim, o perfil observado no padrão de raios-X em estudo. O segundo pico encontra-se em torno de  $2\theta=21,78^\circ$ , correspondente ao plano (002). Segundo Araújo et al. (2010), os dois picos cristalográficos encontrados no difratograma de raios-X do pó da casca da banana são característicos de fibras lignocelulósicas.

Segundo Clark et al. (1965), em sistemas sólidos que exibem uma molécula de celulose, o arranjo das cadeias moleculares pode ser dividido em dois casos: no primeiro tem-se uma agregação completamente isotrópica e amorfa de cadeias orientadas e curvadas aleatoriamente, enquanto que no segundo caso constata-se um estado de perfeita ordem tridimensional, visto que as cadeias se encontram paralelas umas às outras, constituindo uma rede espacial regular. Desse modo, pode-se deduzir que as fibras de celulose se encontram em um estado intermediário entre esses dois casos extremos.

Ao analisar os difratogramas de raios-X das membranas contendo 10% de PCB, como mostra a Figura 23, é possível observar que a membrana CS + 10% PCB em comparação a quitosana pura, apresentou um pequeno aumento na intensidade do pico em  $2\theta=21,89^\circ$ , de modo a indicar um aumento na cristalinidade da membrana analisada. Em se tratando do PVA + 10% PCB, pode-se verificar que ao introduzir o pó da casca da banana na composição, o mesmo apresentou uma diminuição na intensidade dos picos em  $2\theta=19,20^\circ$  e em  $2\theta=40,53^\circ$ , isto é, o PCB promoveu uma diminuição na cristalinidade do material. Para a membrana CS/PVA (1:4) + 10% PCB, percebe-se a presença de um pico em torno de  $2\theta=19,6^\circ$ , no qual é característico da sobreposição do pico da quitosana com o do PVA na composição analisada. Pelo fato de apresentar uma maior concentração de PVA na composição, o difratograma de raios-X apresenta-se de forma semelhante ao

difratograma de raios-X do PVA puro. Entretanto, observa-se que ao incorporar o pó da casca da banana, os picos característicos do PVA diminuem em termos de intensidade, de modo a promover uma diminuição na cristalinidade da membrana. Sendo assim, nota-se que o pó da casca da banana exerce relativa influência na estrutura das membranas, uma vez que a mesma interfere consideravelmente na cristalinidade das diferentes composições das membranas.



**Figura 23.** Difratogramas de raios-X das membranas: (a) CS; (b) PVA; (c) Pó da casca da banana (PCB); (d) CS + 10% PCB; (e) PVA + 10% PCB; (f) CS/PVA (1:4) + 10% PCB.

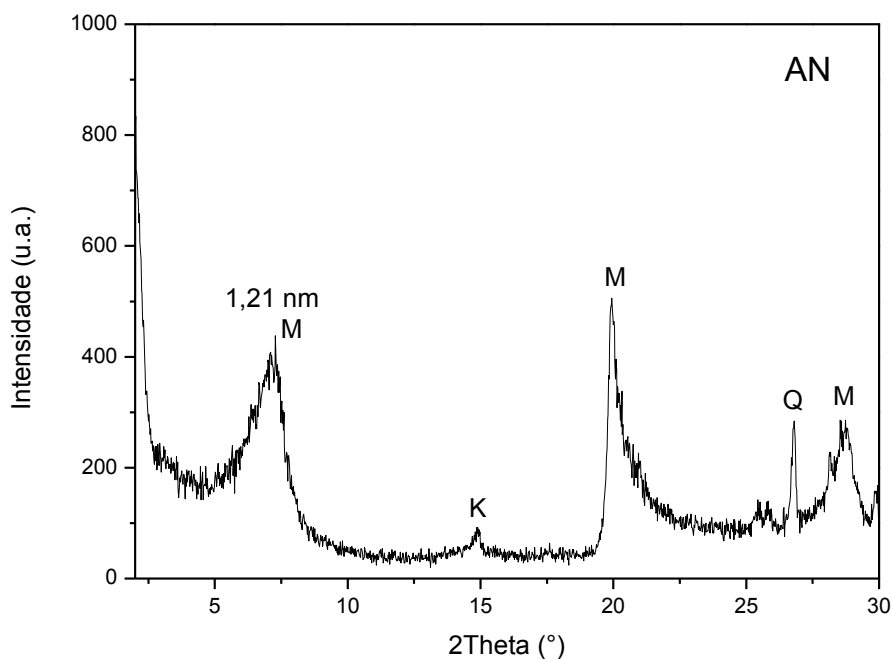
O difratograma de raios-X da argila (AN) está apresentado na Figura 24. Observa-se que o pico em torno de  $2\theta=7,26^\circ$  corresponde a reflexão basal (001), característico do argilomineral montmorilonita (M), com distância interplanar basal ( $d_{001}$ ) de 1,21 nm, calculado pela Lei de Bragg. Verifica-se ainda dois picos, em  $2\theta=19,95^\circ$  e  $2\theta=28,71^\circ$ , no qual comprovam também a presença da montmorilonita. Enquanto que em torno de  $2\theta=14,85^\circ$  tem-se o aparecimento da caulinita e em  $2\theta=26,74^\circ$  tem-se a presença do quartzo. Tal fato estar relacionado com a presença de impurezas na argila utilizada na pesquisa.

Leite et al. (2008) estudaram argilas bentoníticas para utilização como nanocargas na preparação de nanocompósitos de poli(tereftalato de etileno) (PET). Os resultados de difratometria de raios-X mostraram a presença de dois picos de difração, um em  $2\theta=6,68^\circ$  correspondente ao plano (001) e outro em  $2\theta=19,91^\circ$  referente ao plano (020), de modo

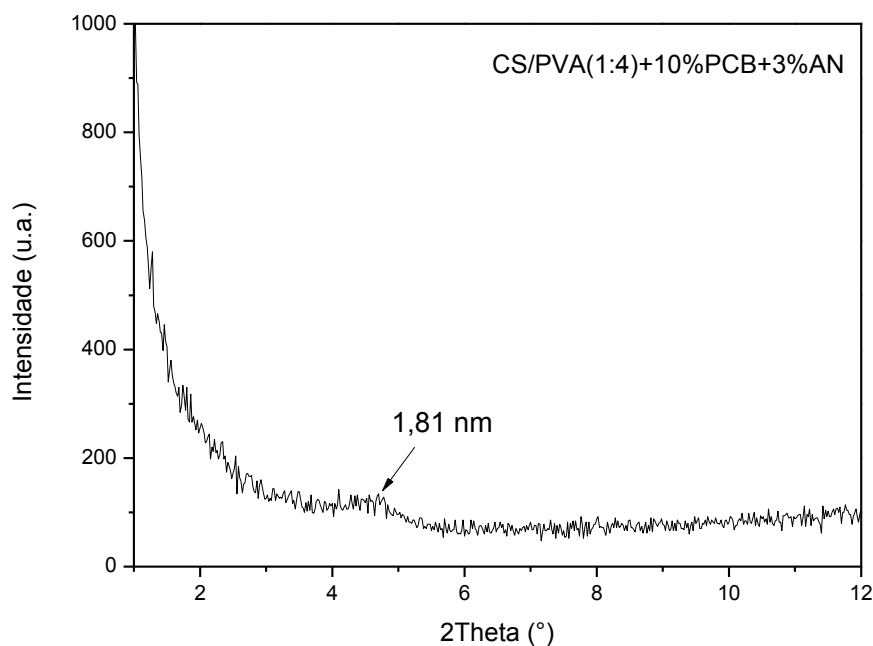


a confirmar a presença de montmorilonita nas amostras. Os resultados mostraram também a presença de impurezas nas argilas bentoníticas avaliadas, tais como a caulinita em  $2\theta=11,73^\circ$  e  $2\theta=23,45^\circ$  e quartzo em  $2\theta=20,87^\circ$  e  $2\theta=26,67^\circ$ .

A Figura 25 mostra o difratograma de raios-X da membrana CS/PVA (1:4) + 10% PCB + 3% AN. Observa-se a presença de um discreto pico cristalográfico em  $2\theta=4,70^\circ$ , pertencente ao plano (001) da montmorilonita presente na mistura CS/PVA/PCB. Ao se incorporar a argila na mistura, observa-se um aumento no espaçamento basal da argila no polímero para 1,81 nm, caracterizando a obtenção de um nanocompósito com morfologia parcialmente esfoliada. Tal comportamento corrobora com o resultado apresentado por FTIR para a composição CS/PVA (1:4) + 10% PCB contendo argila. Além disso, esse comportamento será observado mais adiante por Microscopia Eletrônica de Varredura.



**Figura 24.** Difratograma de raios-X da argila (AN).



**Figura 25.** Difratoograma de raios-X da membrana CS/PVA (1:4) + 10% PCB contendo 3% em massa de argila.

## 5.6 Ensaio de Intumescimento

Segundo Sung et al. (2010) o comportamento de inchamento de um material é considerado um fator decisivo para uma adequada difusão de células e nutrientes, visto que um elevado grau de intumescimento poderá favorecer o processo de cicatrização, pois irá conferir ao material uma maior capacidade de absorção dos exsudados da superfície de feridas cutâneas. A Tabela 4 mostra os resultados referentes ao ensaio de intumescimento para as membranas CS e PVA puras; CS, PVA e CS/PVA (1:4) com 10% em massa do pó da casca da banana; e para CS/PVA (1:4) + 10% PCB contendo 3% em massa de argila. O ensaio ocorreu em água destilada com pH igual a 5,5. Pode-se observar que tanto a membrana PVA pura quanto a PVA + 10% PCB apresentaram dissolução completa em menos de uma hora. Tal comportamento estar relacionado ao fato do PVA utilizado apresentar um grau de hidrólise de 80%, uma vez que, a presença dos grupos hidroxilas promovem uma diminuição nas interações inter e intramoleculares, de tal forma a facilitar a entrada de água, tornando-se, portanto, bastante solúvel (YANG et al., 2004; COSTA, 2008). Para a membrana CS pura, nota-se que houve um pequeno aumento no grau de intumescimento após 24 horas. Esse aumento do grau de intumescimento se

deve ao fato da quitosana apresentar grupamentos aminos, caracterizados por ligações covalentes (N-H), uma vez que a eletronegatividade das ligações gera sítios de alta polaridade, de modo a favorecer o rearranjo das moléculas de água em volta desses sítios, caracterizando assim, em um material com alto grau de afinidade e retenção de água (CAMPOS, 2007; COSTA, 2008; GUIMARÃES, 2018). Entretanto, após 48 horas observa-se uma redução de cerca de 3,96% no grau de intumescimento. A incorporação de 10% em massa do pó da casca da banana na membrana de quitosana (CS) promoveu uma mudança significativa no grau de intumescimento, visto que, a membrana CS + 10% PCB apresentou um aumento de 8,54% no período de 48 horas, em comparação a membrana CS pura. Segundo Thein-Han e Kitiyanant (2007) a capacidade de um determinado material absorver e reter água é considerado como um fator primordial em materiais implantáveis, uma vez que, permite a absorção de fluídos corpóreos e a transferência de nutrientes e metabólitos. Em contrapartida, a membrana CS/PVA (1:4) contendo 10% em massa do pó da casca da banana e 3% em massa de argila apresentaram um percentual de grau de intumescimento negativo para os três períodos analisados. Tal comportamento pode estar associado a quantidade de PVA presente na composição, em virtude de ser bastante solúvel quando em contato com a solução de água destilada, conforme foi observado para a membrana PVA pura bem como para a membrana PVA + 10% PCB. Devido a completa solubilização do PVA na composição, resta apenas a presença da quitosana, do pó da casca da banana e da argila, de tal forma a obter um valor de massa úmida inferior ao valor apresentado pela massa seca, corroborando assim com o percentual de grau de intumescimento negativo apresentado para essas duas membranas.

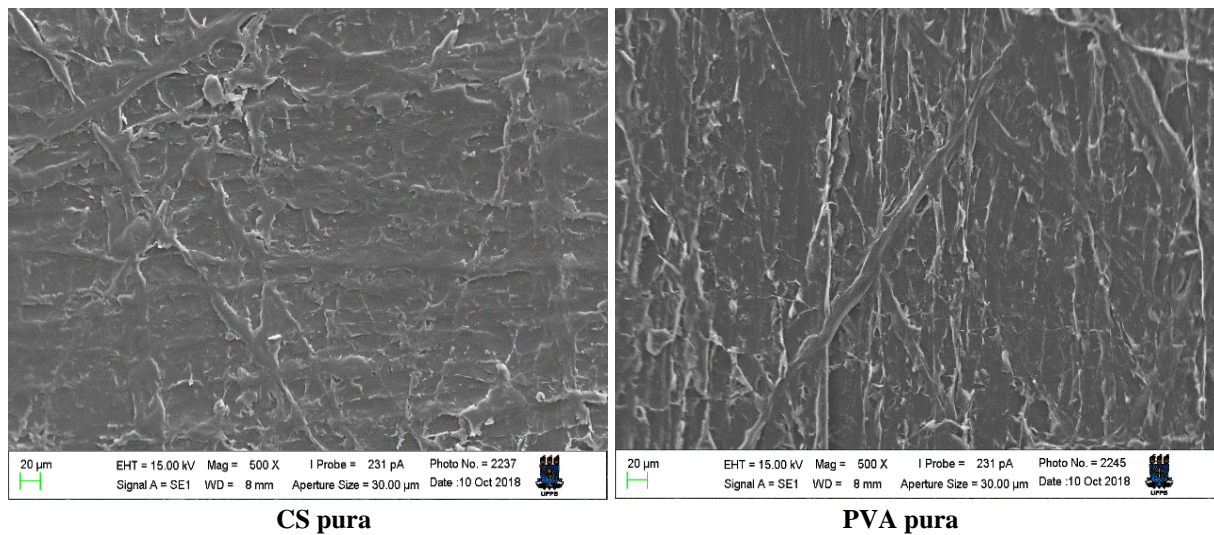
**Tabela 4.** Valores de grau de intumescimento para as membranas estudadas na pesquisa, em solução de água destilada (pH=5,5).

<b>Grau de Intumescimento (%)</b>			
<b>Amostras</b>	<b>1 hora</b>	<b>24 horas</b>	<b>48 horas</b>
<b>CS</b>	11,59 ± 0,27	12,19 ± 8,31	8,23 ± 0,91
<b>PVA</b>	-	-	-
<b>CS + 10% PCB</b>	9,54 ± 6,55	7,01 ± 4,40	16,77 ± 2,19
<b>PVA + 10% PCB</b>	-	-	-
<b>CS/PVA (1:4) + 10% PCB</b>	-50,15 ± 0,39	-64,67 ± 11,10	-78,77 ± 28,72
<b>CS/PVA (1:4) + 10% PCB + 3% AN</b>	-33,35 ± 6,55	-28,11 ± 11,25	-57,27 ± 0,90

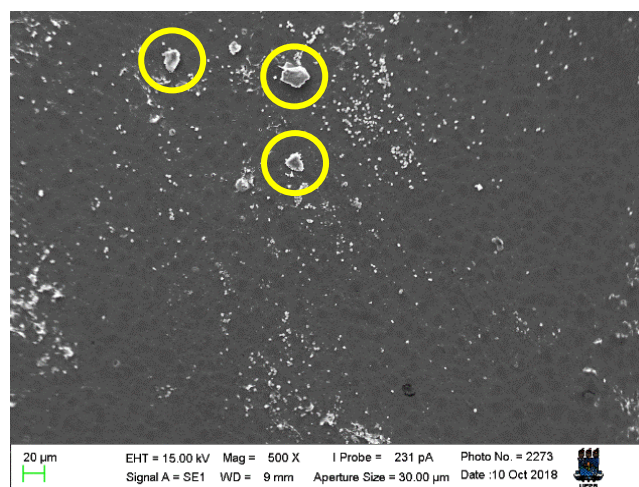
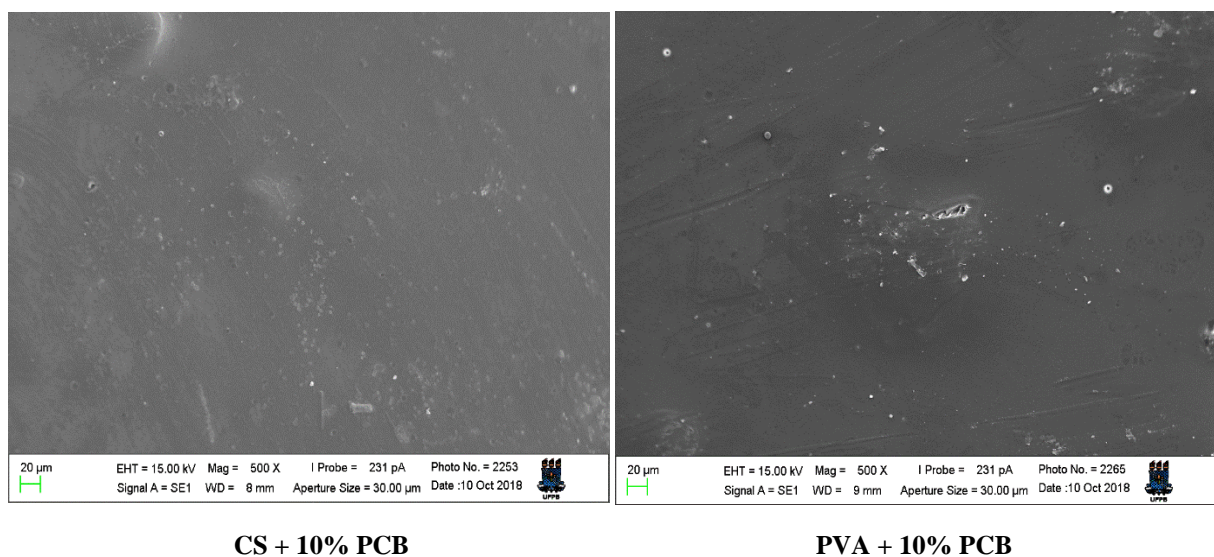
## 5.7 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A Figura 26 mostra as micrografias de MEV das membranas CS e PVA com aumento de 500x. Observa-se um comportamento semelhante na morfologia das membranas analisadas, uma vez que ambas apresentaram uma superfície áspera e rugosa.

Ao incorporar 10% em massa do pó da casca da banana nas membranas CS, PVA e CS/PVA (1:4), foi possível observar alterações morfológicas na superfície das mesmas, como observado na Figura 27. A membrana CS + 10% PCB apresentou uma superfície lisa e homogênea, devido possivelmente a compatibilidade existente entre a quitosana e o pó da casca da banana, visto que não apresentaram aglomerados na superfície da membrana. Comportamento semelhante também foi observado por Kamel et al. (2016), ao estudar nanocompósitos de quitosana contendo pó de casca de banana. A membrana PVA + 10% PCB, exibiu também uma superfície lisa, porém com a presença de poucos aglomerados oriundos possivelmente do pó da casca da banana. A presença desses aglomerados pode ser atribuída a falta de afinidade entre ambos os materiais presentes na mistura (PVA/PCB). Por outro lado, para a membrana CS/PVA (1:4) + 10% PCB, pode-se observar uma morfologia com grânulos de variados tamanhos, bem distribuídos ao longo da superfície. Observa-se também a presença de uma maior quantidade de aglomerados referentes ao pó da casca da banana, em relação as demais composições discutidas anteriormente, apresentando tamanhos distintos, com aglomerados grandes, localizados pontualmente na superfície da membrana, como pode ser observado na micrografia (Figura 27), e aglomerados de menor tamanho que estão bem dispersos ao longo da matriz polimérica. Tal comportamento pode estar associado possivelmente a fraca afinidade matriz/carga, podendo ser atribuído ao PVA existente na mistura, como mostrado na micrografia (Figura 27).

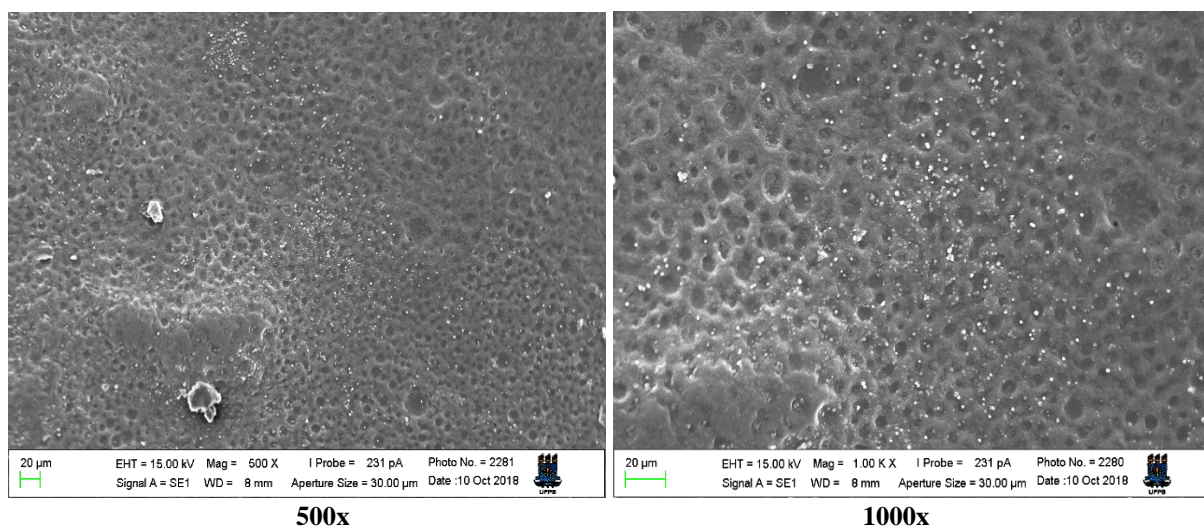


**Figura 26.** Micrografias de MEV das membranas CS e PVA com aumento de 500x.



**Figura 27.** Micrografias de MEV das membranas CS + 10% PCB, PVA + 10% PCB e CS/PVA (1:4) + 10% PCB com aumento de 500x.

As imagens de MEV da membrana CS/PVA (1:4) + 10% PCB + 3% AN estão apresentadas na Figura 28. Observa-se que a incorporação da argila na composição afetou a morfologia da membrana em relação às demais composições analisadas. Esta membrana apresentou uma morfologia heterogênea e rugosa, com a presença de pequenas escavações de tamanhos irregulares, e apresentou partículas brancas, finamente dispersas e distribuídas ao longo da matriz polimérica, atribuídas provavelmente ao pó da casca da banana. Observa-se que a argila possivelmente exerceu papel importante nessa mistura, uma vez que se nota a presença de partículas brancas de tamanhos menores e bem dispersas ao longo da superfície da membrana, podendo estar associada a boa interação polímero/carga mineral/pó da casca da banana, em virtude possivelmente dos grupos funcionais presentes nos materiais envolvidos na mistura CS/PVA. Essa morfologia pode ser melhor visualizada na micrografia de MEV com aumento de 1000x.



**Figura 28.** Micrografia de MEV da membrana CS/PVA (1:4) + 10% PCB + 3% AN.



## 6. CONCLUSÃO

Diante dos resultados discutidos neste trabalho, pode-se concluir que todas as membranas estudadas na pesquisa foram obtidas com êxito. A incorporação do pó da casca da banana alterou de forma considerável a coloração das membranas, visto que apresentaram uma intensa coloração amarelada. Entretanto, a presença da argila na composição CS/PVA (1:4) + 10% PCB influenciou na diminuição do nível de amarelamento da membrana. Todas as membranas apresentaram flexibilidade e maleabilidade, sendo, portanto, uma característica fundamental para aplicação em curativos. Ainda, os valores de espessuras obtidos em todas as membranas revelaram-se compatíveis com as espessuras de curativos já reportados na literatura. Os resultados de FTIR sugeriram que a incorporação do pó da casca da banana interfere de forma significativa nas bandas de absorção, de modo a promover um deslocamento para menores comprimento de onda, especialmente para a membrana CS + 10% PCB. Os difratogramas de raios-X revelaram que a introdução do pó da casca da banana interfere na cristalinidade das membranas. Além disso, a presença da argila na composição CS/PVA (1:4) + 10% PCB proporcionou a obtenção de um nanocompósito com morfologia parcialmente esfoliada. O ensaio de intumescimento revelou um aumento no percentual de absorção de água após 48h em solução de água destilada para a membrana CS contendo 10% em massa do pó da casca da banana. A membrana CS/PVA (1:4) + 10% PCB + 3% AN apresentou significativas alterações em sua morfologia em comparação com as outras membranas, uma vez que, a presença da argila proporcionou uma maior dispersão das partículas do pó da casca da banana ao longo da matriz polimérica, de modo a evidenciar uma boa interação polímero/carga mineral/pó da casca da banana. Portanto, é notório que as membranas estudadas apresentaram características e propriedades favoráveis para aplicação como curativos para serem usados no reparo e cicatrização de tecidos lesionados, destacando-se a membrana CS + 10% PCB que apresentou características compatíveis para tal aplicação.

## **SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

- Diminuir a granulometria do pó da casca da banana;
- Utilizar diferentes composições CS/PVA para a incorporação do pó da casca da banana;
- Realizar atividade antimicrobiana nas membranas estudadas na pesquisa.



## REFERÊNCIAS

ALVES, H.; MACHADO, M. T.; NORONHA, A. N. W. Análise quantitativa do processo de reparo em cicatriz cirúrgica de ratos tratados com extrato de *Musa sapientum*, *Aloe vera*, colagenase e placebo. **Revista Ciências em Saúde**, v.1, n. 2, 2011.

ALVES, N. O.; SILVA, G. T.; WEBER, D. M.; LUCHESE, C.; WILHELM, E. A.; FAJARDO, A. R. Chitosan/poly(vinyl alcohol)/bovine bone powder biocomposites: A potential biomaterial for the treatment of atopic dermatitis-like skin lesions. **Carbohydrate Polymers**, v. 148, p. 115–124, 2016.

AMARAL, I. F.; GRANJA, P. L.; BARBOSA, M. A. Chemical modification of chitosan by phosphorylation: an XPS, FT-IR and SEM study. **Journal of Biomaterials Science. Polymer edition**, v. 16, n. 12, p. 1575–1593, 2005.

ANNADURAI, G.; JUANG, R. S.; LEE, D. J. Adsorption of heavy metals from water using banana and orange peels. **Water Science and Technology**. v. 47, p. 185-190, 2004.

ANDRADE, G.; BARBOSA, S. E. F.; MANSUR, A. A. P.; VASCONCELOS, W. L.; WANSUR, H. S. “Design of novel hybrid organic–inorganic nanostructured biomaterials for immunoassay applications”, **Biomedical Materials**, v. 1, p. 221, 2006.

ANYASI, T. A.; JIDEANI, A. I. O.; MCHAU, G. R. A. Functional properties and postharvest utilization of commercial and noncommercial banana cultivars. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 12, n. 5, p. 509–522, 2013.

ARANHA, I. B.; LUCAS, E. F. Poli(álcool vinílico) modificado com cadeias hidrocarbônicas: Avaliação do balanço hidrófilo/lipófilo. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 11, n. 4, p. 174–181, 2001.

ARAÚJO, J. R.; MANO, B.; TEIXEIRA, G. M.; SPINACÉ, M. A. S.; PAOLI, M. A. Biomicrofibrilar composites of high density polyethylene reinforced with carauá fibers: Mechanical, interfacial and morphological properties. **Composites Science and Technology**, v. 70, p. 1637-1644, 2010.

AUORE, G.; PARFAIT, B.; FAHRASMANE, L. Bananas, raw materials for making processed food products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 20, n. 2, p. 78–91, 2009.

BAUM, C. L.; ARPEY, C. J. Normal cutaneous wound healing: clinical correlation with cellular and molecular events. **Dermatologic Surgery**, v. 31, p. 674-686, 2005.

BARBOSA, R.; MORAIS, D. D. S.; ARAÚJO, E. M.; MÉLO, T. J. A. Caracterizações de argilas bentoníticas e síntese de argilas organofílicas para uso em nanocompósitos poliméricos – Parte II. **Cerâmica**, vol. 58, p. 363-367, 2012.

BASKAR, D.; SAMPATH KUMAR, T. S. Effect of deacetylation time on the preparation, properties and swelling behavior of chitosan films. **Carbohydrate Polymers**, v. 78, n. 4, p. 767-772, 2009.

BLANES, L.; FERREIRA, L. M. Prevenção e tratamento de úlcera por pressão. São Paulo: **1ª Edição** – Editora Atheneu, 2014.

BOROJEVIC, R.; SERRICELLA, P. Próteses vivas de pele humana. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, ano 2, n. 7, p. 16-18, 1999.

BRANCA, C.; D'ANGELO, G.; CRUPI, C.; KHOUZAMI, K.; RIFICI, S.; RUELLO, G.; WANDERLINGH, U. Role of the OH and NH vibrational groups in polysaccharide-nanocomposite interactions: A FTIR-ATR study on chitosan and chitosan/clay films. **Polymer**, v. 99, p. 614-622, 2016.

BRITO, G. F.; OLIVEIRA, A. D.; ARAÚJO, E. M.; MELO, T. J. A.; BARBOSA, R.; ITO, E. N. Nanocompósitos de polietileno/argila bentonita nacional: influência da argila e do agente compatibilizante PE-g-MA nas propriedades mecânicas e de inflamabilidade. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, v. 18, p. 170-177, 2008.

BROCHIER, B. Estudo da desidratação osmótica de Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) usando solutos alternativos à sacarose. **Dissertação de Mestrado** em Engenharia Química. – Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013, 101f.

BROUGHTON, G.; JANIS, J. E.; ATTINGER, C. E. The basic science of wound healing. **Plastic and Reconstructive Surgery**, v. 117, p. 12-34, 2006.

BURKE, J. F.; YANNAS, I. V.; QUINBY, W. C. Jr.; BONDOC, C. C.; JUNG, W. K. Successful use of a physiologically acceptable artificial skin in the treatment of extensive burn injury. **Annals of Surgery**, v. 194, p. 413-428, 1981.

CAMPOS, M.G.N. Desenvolvimento e caracterização de membranas de quitosana para recobrimento de feridas e liberação controlada de fármacos. **Tese de Doutorado** – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Materiais. Universidade Estadual de Campinas, SP, 96f, 2007.

CAMPOS, A. C. L.; BRANCO, A. B.; GROTH, A. K. Cicatrização de feridas. **Arquivos Brasileiros de Cirurgia Digestiva (ABCD)**, v. 20, p.51-58, 2007.

CAMPOS, M. G. N.; MEI, L. H. I.; SANTOS, A. R. J. “Sorbitol-plasticized and neutralized chitosan membranes as skin substitutes,” **Materials Research**, vol. 18, n. 4, p. 781–790, 2015.

CARRETERO, M. I.; POZO, M. Clay and non-clay minerals in the pharmaceutical industry. Part. I. Excipients and Medical Applications. **Applied Clay Science**, v. 46, p. 73-80, 2009.

CHABUCK, Z. G.; AL-CHARRAKH, A. H.; HINDI, N. K. K.; and HINDI, S. K. K. Antimicrobial effect of aqueous banana peel extract. **Research Gate: Pharmaceutical Sciences**, v. 1, p. 73–75, 2013.

CHAVES, J. A. P.; BEZERRA, C. W. B.; SILVA, H. A. S.; SANTANA, S. A. A. Caracterização e aplicação do biopolímero quitosana como removedor de corante têxtil presente em meio aquoso. **Cadernos de Pesquisa**, v. 16, n. 2, p. 36–43, 2009.

CHELLAMANI, K.P.; SUNDARAMOORTHY, P.; SURESHAM, T. Wound dressing made out of poly vinyl alcohol/chitosan nanomembranes, **Journal of Academia and Industrial Research**, v. 1, p. 342–347, 2012.

CHUNG, K. C.; GLORI, A. K. Systematic review of skin graft donor-site dressings. **Plastic and Reconstructive Surgery**, v. 124, p. 307-308, 2009.

CLARK, G. L.; TERFORD, H. C. Fluorescent Spectral Analysis for Iron. **Analytical Chemistry**, p. 1416-1418, 1965.

COSTA JR, E. S., PEREIRA, M. M., MANSUR, H. S. Properties and biocompatibility of chitosan films modified by blending with PVA and chemically crosslinked. **Journal of Materials Science**, v. 20, p. 553-561, 2008.

CRUZ, M. A. R. F. Utilização da Casca de Banana como Biossorvente. **Tese de Mestrado**, Programa de Pós-Graduação em Química. Universidade Estadual de Londrina, 67f, 2009.

DARÉ, R. G.; ESTANQUEIRO, M.; TRUITI, M. C. T. Significância dos argilominerais em produtos cosméticos. **Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada**, v. 36, n. 1, p. 59–67, 2015.

DEALEY, C. Cuidando de feridas: um guia para as enfermeiras. Tradução: Rúbia Aparecida Lacerda, Vera Lúcia Conceição Gouveia Santos, **3ª edição**: Editora Atheneu, São Paulo, 2008.

DEMERLIS, C.C.; SCHONEKER, D.R. Review of the oral toxicity of polyvinyl alcohol (PVA). **Food and Chemical Toxicology**, v. 41, p. 319–326, 2003.

DE PAOLA, D. Q.; SOUZA, M. G. P. P. Película celulósica - novo curativo biológico para melhoria de leito receptor para enxertia cutânea. **Revista Brasileira de Cirurgia**, v. 77, p. 135-138, 1987.

DING, P.; HUANG, K.-L.; LI, G.-Y.; LIU, Y.-F.; ZENG, W.-W. Kinetics of adsorption of Zn (II) ion on chitosan derivatives International. **Journal of Biological Macromolecules**, v. 39, p. 222-227, 2006.

DREIFKE, M. B.; JAYASURIVA, A. A.; JAYASURIVA, A. C. “Current wound healing procedures and potential care,” **Materials Science and Engineering C**, vol. 48, p. 651–662, 2015.

ETZLER, F.M.; DEANNE, R. Particle size analysis: A comparison of various methods II. **Particle e Particle System Characterization**, v. 14, p. 278-282. 1997.

FAN, K.; TANG, J.; ESCANDON, J.; KIRSNER, R. S. State of the art in topical wound healing products. **Plastic and Reconstructive Surgery**, v. 127, p. 44-59, 2011.

FAN, L.; YANG, H.; YANG, J.; PENG, M.; HU, J. Preparation and characterization of chitosan/gelatin/PVA hydrogel for wound dressings. **Carbohydrate Polymers**, v. 146, p. 427–434, 2016.

FRANCO, P. B. “Desenvolvimento e caracterização de membranas de quitosana e casca de banana verde para cicatrização de feridas cutâneas”. **Dissertação de Mestrado** –

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Alfenas, Minas Gerais, 2014.

FRANCO, P. B.; ALMEIDA, L. A.; MARQUES, R. F. C.; BRUCHA G.; CAMPOS, M. G. N. "Evaluation of antibacterial activity of chitosan membranes associated to unripe banana peel," **Materials Science Forum**, vol. 869, p. 859–863, 2016.

GONSALVES, A. A.; ARAÚJO, C. R. M.; SOARES, N. A.; GOULART, M. O. F.; ABREU, F. C. Diferentes Estratégias para a Reticulação de Quitosana. **Química Nova**, v. 34, n. 7, p. 1215–1223, 2011.

GUIMARÃES, A. A. S. Hidrogéis à base de quitosana/poli(álcool vinílico) para liberação de fármaco visando uso potencial como curativo. **Tese de Doutorado** – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

GUIRRO, E; GUIRRO, R. Fisioterapia dermato-funcional. Barueri, São Paulo: **Editora Manole**, 2004.

GURTNER, G. C.; WERNER, S.; BARRANDON, Y.; LONGAKER, M. T. Wound repair and regeneration. **Nature**, v. 453, p. 314-321, 2008.

HASSAN, C. M.; PEPPAS, N. A. Structure and Applications of Poly (vinyl alcohol) Hydrogels Produced by Conventional Crosslinking or by Freezing/Thawing Methods. **Advances in Polymer Science**, v. 153, p. 37–65, 2000.

HARRIS, M. I. N. de C. Pele-estrutura, propriedades e envelhecimento. Editora Senac: **2ª edição**. São Paulo, 2005.

HONG, S.; LEE, J. H.; BAE, H. J.; KOO, S. Y.; LEE, H. S.; CHOI, J. H.; KIM, D. H.; PARK, S.; PARK, H. J. Effect of Shear Rate on Structural, Mechanical, and Barrier Properties of Chitosan/Montmorillonite Nanocomposite Film. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 119, p. 2742-2749, 2011.

HUANG, B.; LIU, M. ZHOU, C. Chitosan composite hydrogels reinforced with natural clay nanotubes. **Carbohydrate Polymers**, v. 175, p. 689-698, 2017.

JODAR, K. DOS S. P. Desenvolvimento e caracterização de hidrogel de PVA (álcool polivinílico) e dextrana com sulfadiazina de prata para aplicação tópica. **Dissertação de**

**Mestrado** – Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas. Universidade de Sorocaba, São Paulo, 2014.

JOSUÉ, A.; LARANJEIRA, M. C. M.; FÁVERE, V. T.; KIMURA, I. Y.; PEDROSA, R. C. Liberação controlada da eosina impregnada em microesferas de copolímero de quitosana e poli(ácido acrílico). **Polímeros**, v. 10, n. 3, p. 116–121, 2000.

JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. Histologia Básica, **9ª edição**. Editora: Guanabara Koogan, São Paulo, cap.18, p. 303-314, 1999.

JUVENCIO, L. R. F. Preparação e caracterização de filme de PVA/QUITOSANA/COLÁGENO visando a aplicação como curativo Cutâneo. **Dissertação de Mestrado** – Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais. Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2017.

KAMEL, N. A.; EL-MESSIEH, S. L. A.; SALEH, N. M. “Chitosan/Banana peel powder nanocomposites for wound dressing application: preparation and characterization,” **Materials Science and Engineering: C**, v. 72, p. 543–550, 2016.

KANIMOZHI, K.; KHALEEL, B. S.; SUGANTHA, K. V. Processing and characterization of chitosan/PVA and methylcellulose porous scaffolds for tissue engineering. **Materials Science and Engineering: C**, v. 61, p. 484–491, 2016.

KAPADIA, S. P.; PUDAKALKATTI, P. S.; and SHIVANAIAKAR, S. “Detection of antimicrobial activity of banana peel (*Musa paradisiaca* L.) on *Porphyromonas gingivalis* and *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*: An in vitro study,” **Contemporary Clinical Dentistry**, vol. 6, n. 4, p. 496–499, 2015.

KHLIBSUWAN, R.; PONGIANYAKUL, T. Chitosan-clay matrix tablets for sustained-release drug delivery: Effect of chitosan molecular weight and lubricant. **Journal of Drug Delivery Science and Technology**, v. 35, p. 303-313, 2016.

KIM, C.H.; CHOI, J.W.; CHUN, H.J.; CHOI, K.S. Synthesis of chitosan derivatives with quaternary ammonium salt and their antibacterial activity. **Polymer Bulletin**, v. 38, n. 4, p. 387-393, 1997.

KOKABI, M.; SIROUSAZAR, M.; HASSAN, Z. M. PVA-clay nanocomposite hydrogels for wound dressing. **European Polymer Journal**, v. 43, n. 3, p. 773–781, 2007.

KORTING, H. C.; SCHOLLMANN, C.; WHITE, R. J. "Management of minor acute cutaneous wounds: importance of wound healing in a moist environment," **Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology**, vol. 25, n. 2, p. 130–137, 2011.

KOOSHA, M.; MIRZADEH, H.; SHOKRGOZAR, M. A.; FAROKHI, M. Nanoclay-reinforced electrospun chitosan/PVA nanocomposite nanofibers for biomedical applications. **Royal Society of Chemistry**, v. 5, p. 10479-10487, 2015.

LABUZA, T. P. Basic food preservation and degradation modes. In: Shelf-Life Dating Food. Chicago: **Food & Nutrition Press**, p. 25-39, 1982.

LAKO, J.; TRENNERY, V. C.; WAHLQVIST, M.; WATTANAPENPAIBOON, N.; SOTHEESWARAN, S.; PREMIER, R. Phytochemical flavonols, carotenoids and the antioxidant properties of a wide selection of *Fijian* fruit, vegetables and other readily available foods. **Food Chemistry**, v. 101, n. 4, p. 1727–1741, 2007.

LEE, K. Y.; MOONEY, D. J. Hydrogels for tissue engineering. **Chemical Reviews**, v. 101, p. 1869–1880, 2001.

LEE, M. H.; KIM, S. Y.; PARK, H. J. Effect of halloysite nanoclay on the physical, mechanical, and antioxidant properties of chitosan films incorporated with clove essential oil. **Food Hydrocolloids**, v. 84, p. 58-67, 2018.

LEITE, I. F., RAPOSO, C.M.O., SILVA, S.M.L. Caracterização estrutural de argilas bentoníticas nacional e importada: antes e após o processo de organofilização para utilização como nanocargas. **Cerâmica**, v. 54, p. 303-308, 2008.

LIN, W.C. et al. Blood compatibility of novel poly( $\gamma$ -glutamic acid)/poly(vinyl alcohol) hydrogels. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 47, p. 43-49, 2006.

LINO, P. B. et al. Evolution of post-surgical healing in rats using a topical preparation based on extract of *Musa sapientum* epicarp. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 21, n. 3, p. 491-496, 2011.

LUCKHAM, P. F.; ROSSI, S. The colloidal and rheological properties of bentonite suspensions. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 82, p. 43-92, 1999.

MACHADO, M. C. P.; LANGBEHN, J. T.; OLIVEIRA, C. M.; ELYSEU, F.; CARGNIN, M.; NONI, A. Jr.; FRIZON, T. E. A.; PETERSON, M. Estudo do

comportamento e caracterização de argilas bentoníticas após processo de liofilização. **Cerâmica**, v. 64, p. 207-213, 2018.

MADEJOVÁ, J. FTIR techniques in clay mineral studies. **Vibrational Spectroscopy**, v. 31, p. 1-10, 2003.

MAINA, H. M.; HEIDI, E.S.; SHAGAL, M. H. Analytical screening of nutritional and non-essential components in unripe and ripe fruits of banana (*Musa sapientum*). **International Journal of Medicinal Plant Research**, v. 1, n. 3, p. 20- 25, 2012.

MALAGUTTI, W.; KAKIHARA C. T. (Orgs.). Curativos, estomias e dermatologia: uma abordagem multiprofissional. **3ª edição**. Editora Martinari, São Paulo, 638f, 2014.

MANSUR, H. S.; SADAHIRA, C.M.; SOUZA, A.; MANSUR, A. A. P. FTIR spectroscopy characterization of poly(vinyl alcohol) hydrogel with different hydrolysis degree and chemically crosslinked with glutaraldehyde. **Material Science and Engineering C**, v. 28, p. 539-548, 2007.

MARCHESSAULT, R. H.; BREMNER, G.; CHAUVE, G. Polysaccharides for Drug Delivery and Pharmaceutical Applications. Washington, DC: **American Chemical Society**, 1ª edição, 384p, 2006.

MARTENS, P. ANSETH A. K. Characterization of hydrogel formed from acylate modified poly (vinyl alcohol). **Polymer**, v. 41, p. 7715-7722, 2000.

MEMON, J. R.; et al. Characterization of banana peel by scanning electron microscopy and FT-IR spectroscopy and its use for cadmium removal. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v.66, p 260-265, 2008.

MONTAGNA, W.; EBLING, F. J. G. W. Encyclopædia Britannica. **Human Skin – anatomy**. 2016. Disponível em: <<https://www.britannica.com/science/human-skin>>. Acesso em: 10 de setembro de 2018.

MOKBEL, M. S.; and HASHINAGA, F. Antibacterial and antioxidant activities of banana (*Musa*, AAA Cv. Cavendish) fruits peel, Am. **Journal of Biochemistry and Biotechnology**, v. 1, p. 125–131, 2005.

MORITA, R. Y.; BARBOSA, R. V.; KLOSS, J. R. Caracterização de Bentonitas Sódicas: Efeito do Tratamento com Surfactante Orgânico Livre de Sal de Amônio. **Revista Virtual de Química**, v. 7, p. 1286-1298, 2015.



MORGADO, PATRÍCIA I.; LISBOA, PEDRO F.; RIBEIRO, MAXIMIANO P.; MIGUEL, SÓNIA P.; SIMÕES, PEDRO C.; CORREIA, ILÍDIO J.; AGUIAR-RICARDO, ANA. Poly(vinyl alcohol)/chitosan asymmetrical membranes: Highly controlled morphology toward the ideal wound dressing. **Journal of Membrane Science**, v. 469, p. 262–271, 2014.

MORGADO, PATRÍCIA I.; MIGUEL, SÓNIA P.; CORREIA, ILÍDIO J.; AGUIAR-RICARDO, ANA. Ibuprofen loaded PVA/chitosan membranes: A highly efficient strategy towards an improved skin wound healing. **Carbohydrate Polymers**, v. 159, p. 136–145, 2017.

MUZZARELLI, R. A. A. Human enzymatic activities related to the therapeutic administration of chitin derivatives. **Cellular and Molecular Life Science**, v. 53, n. 2, p. 131-140, 1997.

NASCIMENTO, E. G. et al. Evaluation of chitosan gel with 1% silver sulfadiazine as an alternative for burn wound treatment in rats. **Acta Cirúrgica Brasileira**, v. 24, n. 6, p. 460-465, 2009.

NASCIMENTO, B. B. JR. et al. Diferenças entre bananas de cultivares Prata e Nanicão ao longo do amadurecimento: características físico-químicas e compostos voláteis. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 3, p. 649–658, 2008.

NASCIMENTO, J. K. M. “Membranas de quitosana-G-acrilato de sódio incorporadas com nanopartículas de prata para o desenvolvimento de curativos”. **Dissertação de Mestrado** – Programa de Pós-Graduação em Química. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

NERY, A. L. V.; PORTER, K. E.; FREIRE, R. F.; BAPTISTA, N. S.; ESBERARD, F.; SOUZA, T. H. S.; NOGUERA, W.; SILVA, M. A. L. Nova abordagem no tratamento de lesões complexas: uso de matriz de regeneração dérmica. **Revista Brasileira de Queimaduras**, v. 10, p. 66-70, 2011.

NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, K. S.; TALBOT, B. G. Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringaoleifera*. **WaterResearch**, v. 29, p. 703-710, 1995.

NUTTELMAN, C. R.; MORTISEN, D. J. HENRY, S. M.; ANSETH, K. S. Attachment of fibronectin to poly(vinyl alcohol) hydrogels promotes NIH3T3 cell adhesion, proliferation, and migration. **Journal of Biomedical Materials Research**, v. 57, p. 217–223, 2001.

OKAMOTO, Y.; YANO, R.; MINAMI, S. Effects of chitin and chitosan on blood coagulation. **Carbohydrate Polymers**, v. 53, n. 3, p. 337–342, 2003.

OLIVEIRA, I. V. P. D. M.; DIAS, R. V. D. C. Cicatrização de feridas: fases e fatores de influência. **Acta Veterinária Brasília**, Mossoró, v. 6, n. 4, p. 267-271, 2012.

ONO, H.; TESAKI, S. TANABE, S.; WATANABE, M. Isotiocianato de 6-metilsulfinil-hexilo e seus homólogos como compostos de origem alimentar com atividade antibacteriana contra *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*. **Bioscience Biotechnology Biochemycal**, v. 62, p. 363-365, 1998.

ORDEÑEZ, J.A. et al. Tecnologia de Alimentos – Componentes dos alimentos e processos. **1ª Edição**: Editora Artmed, Porto Alegre, 294p, 2005.

PAIVA, L. B.; MORALES, A. R.; DÍAZ, F. R. V. Argilas organofílicas: características, metodologia de preparação, composto de intercalação e técnicas de caracterização. **Cerâmica**, vol. 54, n. 330, p. 213-226, 2008.

PALASTANGA, N. F.; SOAMES, R.; FIELD, D. Anatomia e Movimento Humano: Estrutura e Função. Editora Manole: **3ª edição**, 765p, 2000.

PATRULEA, V. et al. Chitosan as a starting material for wound healing applications. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, v. 97, p. 417-426, 2015.

PEPPAS, N.A. Hydrogels of poly(vinyl alcohol) and its copolymers. In: Boca Raton, Florida: CRC. Volume II: **Polymers**, p. 1-48, 1987.

PEREIRA, A.; MARASCHIN, M. Banana (*Musa* spp) from peel to pulp: Ethnopharmacology, source of bioactive compounds and its relevance for Human health. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 160, n. 3, p. 149-163, 2014.

PON-ON, W. et al. Mechanical properties, biological activity and protein controlled release by poly(vinyl alcohol)–bioglass/chitosan–collagen composite scaffolds: A bone tissue engineering applications. **Materials Science and Engineering: C**, v. 38, n. 1, p. 63–72, 2014.

QI, L.; XU, Z.; JIANG, X.; HU, C.; ZOU, X. Preparation and antibacterial activity of chitosan nanoparticles. **Carbohydrate Research**, v. 339, n. 16, p. 2693-2700, 2004.

RAO, S. B.; SHARMA, C. P. Use of chitosan as a biomaterial: Studies on its safety and hemostatic potential. **Journal of Biomedical Materials Research Part A**, v. 34, n. 1, p. 21-28, 1997.

RASIA, G. M. Síntese e funcionalização de hidrogéis de poli (álcool vinílico). **Dissertação de Mestrado** – Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

RINAUDO, M. “Chitin and chitosan: Properties and applications”, **Progress in Polymer Science**, v. 31, p. 603-632, 2006.

RODRIGUES, L. A. S.; FIGUEIRAS, A.; VEIGA, F.; FREITAS, R. M.; NUNES, L. C. C.; SILVA, F. E. C.; LEITE, C. M. S. The systems containing clays and clay minerals from modified drug release: A review. **Colloids Surf B Biointerfaces**, v. 103, p. 642-651, 2013.

RODRIGUES, A. P. O. Estudo do processo de esfoliação via solução para obtenção de nanocompósitos e de sua viabilidade como excipientes em formulações farmacêuticas. **Dissertação de Mestrado** – Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia de Polímeros. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano, Rio de Janeiro, 2010.

SAE-TEAW, M. et al. Serum melatonin levels and antioxidant capacities after consumption of pineapple, orange, or banana by healthy male volunteers. **Journal of Pineal Research**, v. 55, n. 1, p. 58–64, 2013.

SANTOS, P. S. Ciência e Tecnologia de Argilas. **2ª Edição**: Editora Edgard Blucher, São Paulo, 408p, 1989.

SATO, A. C. K. Influência do tamanho de partículas no comportamento reológico da polpa de jabuticaba. **Dissertação de Mestrado** em Engenharia de Alimentos – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2005, 73p.

SILVIA G. B.; FERREIRO, E. A. ADSORPTION OF POLY(VINYL ALCOHOL) ON MONTMORILLONITE. **Clays and Clay Minerals**, v. 52, n. 3, p. 334–340, 2004.

SINGH, B.; SINGH, J. P.; KAUR, A.; SINGH, N. Bioactive compounds in banana and their associated health benefits – A review. **Food Chemistry**, v. 206, p. 1–11, 2016.

SÓNIA, P. M.; MAXIMIANO, P. R.; HUGO, B.; PAULA, C. ILÍDIO, J. C. Thermoresponsive chitosan-agarose hydrogel for skin regeneration. **Carbohydrate Polymers**, v. 111, p. 366-373, 2014.

SOUZA, M. A. J.; VARGAS, T. J. S. Anatomia, fisiologia e histologia da pele. **Dermatologia Estética**. São Paulo: Editora Atheneu, 2004.

SPENCE, A. P. Anatomia Humana Básica. Editora Manole: **2ª edição**, 713p, 1991.

SUN, J.; CHU, Y. F.; WU, X.; LIU, R. H. Antioxidant and antiproliferative activities of common fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 25, p. 7449–7454, 2002.

SUNG, J. H.; HWANG, M-R; KIM, J. O.; LEE, J. H.; KIM, Y. I.; KIM, J. H.; CHANG, S. W.; JIN, S. G.; KIM, J. A.; LYOO, W. S.; HAN, S. S.; KU, S. K.; YONG, C. S.; CHOI, H-G. Gel characterisation and in vivo evaluation of minocycline-loaded wound dressing with enhanced wound healing using polyvinyl alcohol and chitosan. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 392, n. 1–2, p. 232–240, 2010.

TAZIMA, M. F. G. S.; VICENTE, Y.; MORYA, T. Biologia da ferida e cicatrização. **Medicina**, v. 41, p. 259-64, 2008.

THEIN-HAN, W. W.; KITTYANANT, Y. Chitosan scaffolds for in vitro buffalo embryonic stem-like cell culture: An approach to tissue engineering. **Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials**, v. 80, n. 1, p. 92-101, 2007.

TONHI, E.; PLEPIS, A. M. G. Obtenção e caracterização de blendas colágeno-quitosana. **Revista Química Nova**, v. 25, n. 6, p. 943-948, 2002.

TRINCA, R. B.; WESTIN, C. B.; SILVA, J. A. F.; MORAES, A. M. “Electrospun multilayer chitosan scaffolds as potential wound dressings for skin lesions”. **European Polymer Journal**, v. 88, p. 161–170, 2017.

UENO, H.; NAKAMURA, F.; MURAKAMI, M.; OKUMURA, M.; KADOSAWA, T.; and FUJINAGA, T. Evaluation effects of chitosan for the extracellular production by fibroblast and the growth factors production by macrophages. **Biomaterials**, v. 22, p. 2125-2130, 2001.

UENO, H.; MORI, T.; FUJINAGA, T. Topical formulations and wound healing applications of chitosan. **Advanced Drug Delivery Reviews**, v. 52, n. 2, p. 105–115, 2001.

UTRACKI, L. A. Polymer Blends Handbook. **Kluwer Academic Publishers**, Dordrecht, The Netherlands, v. 2, 1442p, 2002.

WANG, S. F.; SHEN, L.; TONG, Y. J.; CHEN, L.; PHANG, Y.; LIM, P. Q.; LIU, T. X. Biopolymer chitosan/montmorillonite nanocomposites: Preparation and characterization. **Polymer Degradation and Stability**, v. 90, p. 123-131, 2005.

WALL, M. M. Ascorbic acid, vitamin A, and mineral composition of banana (*Musa* sp.) and papaya (*Carica papaya*) cultivars grown in Hawaii. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 19, n. 5, p. 434–445, 2006.

YANG, J. M.; SU, W. Y.; LEU, T. L.; YANG, M. C. Evaluation of chitosan/PVA blended hydrogel membranes. **Journal of Membrane Science**, v. 236, n. 1–2, p. 39–51, 2004.

YUVARAJA, G.; PATHAK, J. L. Antibacterial and wound healing properties of chitosan/poly(vinyl alcohol)/zinc oxide beads (CS/PVA/ZnO). **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 103, p. 234-241, 2017.

Z. LU, W.; GAO, J.; HE, O.; WU, J.; LIANG, D.; YANG, H.; CHEN, R. “Enhanced antibacterial and wound healing activities of microporous chitosan-Ag/ZnO composite dressing”. **Carbohydrate Polymers**, v. 156, p. 460–469, 2017.

## ANEXO I

Certificado de Análises do fornecedor da quitosana utilizada na pesquisa (Polymar).

	<b>TESTE</b>	<b>ESPECIFICAÇÃO</b>	<b>RESULTADOS</b>
<b>01</b>	<b>Identificação</b>	<b>Conforme prescrito</b>	<b>De acordo</b>
<b>02</b>	<b>Aparência</b>	<b>Pó de cor creme e odor característico</b>	<b>De acordo</b>
<b>03</b>	<b>Aspecto da solução em ac. acético a 1%</b>	<b>Cor variando de amarelo a creme</b>	<b>De acordo</b>
<b>04</b>	<b>Densidade aparente</b>	<b>Informativo</b>	<b>0,32 g/ml</b>
<b>05</b>	<b>Granulometria</b>	<b>95,0% passa em 80 mesh</b>	<b>De acordo</b>
<b>06</b>	<b>Perda por dessecação</b>	<b>10,0 % máx</b>	<b>9,30 %</b>
<b>07</b>	<b>Cinzas totais</b>	<b>2,0 % máx</b>	<b>1,35 %</b>
<b>08</b>	<b>pH</b>	<b>7,0 – 9,0</b>	<b>7,90</b>
<b>09</b>	<b>Viscosidade</b>	<b>&lt; 200 cPs</b>	<b>50 cPs a 20°C , LVt 31, torque de 11,7 %</b>
<b>10</b>	<b>Grau de desacetilação</b>	<b>85,0 % min</b>	<b>86,30 %</b>